

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie/ Plastische  
Operationen

(Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Hans-Robert Metelmann)

der Universitätsmedizin Greifswald

**Der Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Form des  
Processus condylaris mandibulae und die umgebenden  
Weichgewebe**

**Eine bevölkerungsrepräsentative MRT-Studie aus  
Nordostvorpommern**

Inaugural - Dissertation zur  
Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der

Medizinischen Fakultät der

Universität Greifswald

2020

vorgelegt von: Franz Krüger

geb. am 29.11.1989

in Neubrandenburg

Dekan: Prof. Dr. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Hans-Robert Metelmann, Greifswald

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Bernhard Frerich, Rostock

Ort, Raum: Fleischmannstraße 42, 17475 Greifswald, Übungsraum 1

Tag der Disputation: 30.09.2020

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht .....	4
2.1	Phylognese und Ontogenese des Kiefergelenks .....	4
2.2	Aufbau und Funktion des menschlichen Kiefergelenks .....	7
2.3	Form des Processus condylaris mandibulae .....	11
2.4	Postnatale Veränderungen der Form des Kondylus .....	12
2.5	Position des Kondylus in der Fossa mandibularis .....	13
2.6	Postnatale Veränderung des Discus articularis.....	14
2.7	Diagnostik am Kiefergelenk .....	16
3	Material und Methoden .....	20
3.1	Study of Health in Pomerania (SHIP) .....	20
3.2	Material.....	24
3.3	Methoden .....	25
3.3.1	Webanwendung .....	25
3.3.2	Reading procedure .....	26
3.4	Messungen am Kiefergelenk .....	34
3.5	Vermessung der Kiefergelenke .....	36
3.5.1	Vermessung des Interkondylarwinkels und der Länge des Kondylus in Bild 1 und 2.. .....	36
3.5.2	Vermessungen der Weichgewebstdicken kranial des Kondylus und seiner Breite ....	37
3.5.3	Typisierung der Form des Caput mandibulae.....	39
3.6	Qualitätssicherung .....	41
4	Ergebnisse .....	43
4.1	Form des Kondylus.....	43
4.2	Weichgewebstdicken kranial des Kondylus .....	48
4.2.1	Größte Weichgewebstdicke kranial des Kondylus in schräg koronaren MRT- Schichtaufnahmen durch das Kiefergelenk .....	48
4.2.2	Weichgewebstdicken in schräg sagittalen MRT-Schichtaufnahmen durch das Kiefergelenk .....	52
4.3	Einfluss der Kondylusform auf die größte Weichgewebstdicke (HW) in schräg koronaren MRT-Schichtaufnahmen .....	54
4.4	Bedeutung der Seitensymmetrie der Kondylusform auf die größte Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus.....	56

5	Diskussion .....	57
5.1	Form des Kondylus.....	57
5.2	Weichgewebsdicke kranial des Kondylus .....	62
5.3	Einfluss der Form des Kondylus auf seine größte kraniale Weichgewebsdicke (HW). .....	63
5.4	Material und Methodenkritik.....	64
5.5	Schlussfolgerungen.....	66
6	Zusammenfassung.....	68
7	Literaturverzeichnis.....	71
8	Anhang	

;  
;  
;

## **1 Einleitung**

Das paarige Kiefergelenk (*Articulatio temporomandibularis*) ist die gelenkige Verbindung der Mandibula mit der seitlichen Schädelbasis. Wie viele andere Diarthrosen weist das Kiefergelenk Hilfseinrichtungen auf. Dabei unterteilt der faserknorpelige *Discus articularis* das Gelenk vollständig in ein oberes und ein unteres Teilgelenk. Da die beiden Gelenkköpfe eines Individuums durch die Mandibula verbunden sind, wirken sich Bewegungen in einem Kiefergelenk immer auch auf das kontralaterale Kiefergelenk aus. Diese Vielzahl anatomischer Besonderheiten befähigt das Gelenk zu komplexen Dreh- und Gleitbewegungen. Die Kiefergelenke sind zudem integrale Bestandteile des kranio-mandibulären Systems. Die Bedeutung des kranio-mandibulären Systems wird oft erst bei dessen Störung klar (Ettlin und Gallo, 2019).

Die Störungen dieses Systems werden im deutschsprachigen Raum meist als Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) bezeichnet. Als Leitsymptome nennt Ridder (2016) u.a. Schmerzen im Kiefergelenk, mandibuläre Dysfunktion im Sinne einer Einschränkung oder Abweichung der Unterkiefermobilität sowie Kiefergelenksgeräusche wie Knacken aber auch Krepitation.

Die Diagnose CMD wird nicht nur auf Grund eines Symptoms gestellt. Vielmehr wird die CMD durch eine Vielzahl von verschiedenen Leitsymptomen geprägt. Die Signifikanz dieser Symptome wird jedoch sehr unterschiedlich bewertet. Abgesehen davon, dass die Diagnosestellung CMD auch durch die Vielzahl sehr unterschiedlicher Untersuchungsmethoden erschwert wird, sind solche Faktoren wie Alter und Geschlecht, die geographische Herkunft und der sozioökonomische Hintergrund bisher wenig berücksichtigt worden (Ahlers und Jakstat, 2000).

Patienten mit CMD sind nicht nur aus zahnmedizinischer Sicht von Interesse. Aufgrund der zahlreichen Symptome gelangen viele Patienten erst über den Umweg anderer medizinischer Fachdisziplinen wie Orthopädie, Neurologie bis hin zur Psychiatrie zum Zahnarzt. Nach der Diagnosestellung ist in vielen Fällen auch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur mit den o.g. Fachgebieten erforderlich (Ridder, 2016).

Für die Diagnostik von Kiefergelenksbeschwerden stehen eine Reihe von Untersuchungsmöglichkeiten wie die klinische Funktionsanalyse, die Axio-graphie, die Orthopantomographie, die digitale Volumetomographie und die

Magnetresonanztomographie (MRT) zur Verfügung. Dabei stellt die Magnetresonanztomographie aufgrund der dreidimensionalen Datensätze, der guten Weichgewebstdarstellung und der fehlenden ionisierenden Strahlung den Goldstandard bei der Untersuchung von destruktiven und tumorösen Veränderungen dar (Ridder, 2016). Dies gilt insbesondere auch bei der Lokalisation von Weichgeweben des kranio-mandibulären Systems (Bernhardt et al., 2014). Die Kompression oder eine Verlagerung des Discus articularis mandibulae gehören zu den Befunden, die häufig mit CMD in Verbindung stehen (Parsché et al., 2013).

Die klinische Diagnostik ist jedoch aufgrund der geringen Verfügbarkeit und der hohen Kosten der MRT der wichtigere und umfangreichere Teil der heutigen alltäglichen Diagnostik bei CMD. Die MRT ist als ergänzende Diagnostik bei besonders schwierigen oder chirurgischen Fällen jedoch sehr hilfreich (Park et al., 2012).

Eine eindeutige Feindiagnostik des Weichgewebes und des Discus articularis mandibulae setzt eine MRT mit Kiefergelenksspulen voraus. Nur durch diese Erweiterung der Aufnahmetechnik entstehen Bilder mit der nötigen Auflösung in diesem Bereich (Vogl und Abolmaali, 2001). Da die hier vorliegende Studie MRT Aufnahmen auswertet, die mit einer Vielzahl von Oberflächenspulen, jedoch ohne entsprechende Kiefergelenksspulen angefertigt wurden, beschränken sich alle getroffenen Aussagen auf das Weichgewebe kranial des Processus condylaris mandibulae.

Die Studie of Health in Pomerania (SHIP), die die Grundlage zu Generierung der Daten dieser Untersuchung war, bietet aufgrund ihres Umfanges und der Patientenzahl die Möglichkeit bevölkerungsrelevante Rückschlüsse zu ziehen. In der vorliegenden Arbeit geht es um die anatomische Variationsbreite der Kiefergelenksregion in einer Normalbevölkerung. Sie kann so als Grundlage für nachfolgende Untersuchungen dienen.

Die Ziele der MRT-Studie sind im Einzelnen:

1. Die Kategorisierung der Form des Processus condylaris mandibulae
2. Die Untersuchung der Symmetrieverhältnisse des Caput mandibulae
3. Die Untersuchung des Weichgewebes um den Processus condylaris mandibulae
4. Die Untersuchung des Einflusses des Alters und des Geschlechtes auf die Form des Processus condylaris mandibulae und auf die ihn umgebenden Weichgewebe
5. Die Untersuchung des Einflusses der Form des Processus condylaris mandibulae auf die ihn umgebenden Weichgewebe

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Phylogenese und Ontogenese des Kiefergelenks

Knochenfische, Amphibien, Reptilien und Vögel besitzen ein primäres Kiefergelenk. Dabei artikuliert das Artikulare mit dem Quadratum und bildet so das Quadrato-Artikular-Gelenk (Frick und Starck, 1963). Das Quadratum des Schädels gliedert sich hier nach chondraler Ossifikation vom Palatoquadratum ab. Das Artikulare ist Teil des primitiven Unterkiefers und entsteht neben dem Dentale und dem Angulare aus Teilen des Mandibulare des 1. Kiemenbogens.

Während der Ontogenese der Säugetiere, einschließlich des Menschen, besteht dieses primäre Kiefergelenk nur vorübergehend. Bei den Säugetieren entsteht aus diesem Gelenk homolog das *Articulatio incudomallearis* der Gehörknöchelchenkette. Dabei entspricht der Incus dem Quadratum und der Malleus dem Artikulare (Schumacher, 1991). Beide Strukturen entwickeln sich dabei aus dem Meckel-Knorpel durch chondrale Ossifikation. Bei den Säugetieren bilden sich alle Anteile des ursprünglichen Unterkiefers der Wirbeltiere bis auf das Dentale zurück. Somit stellt der *Processus condylaris mandibulae* der Säugetiere den Gelenkfortsatz des Dentale dar. Der *Processus condylaris mandibulae* gelangt schließlich in Kontakt mit der *Pars squamosa ossis temporalis*, welche dem Squamosum der Nichtsäuger entspricht, und artikuliert mit dieser Struktur im sekundären Kiefergelenk (Westheide und Rieger, 2015).

Lateral des Meckelknorpels, dem eine platzhaltende und rahmengebende Funktion zugewiesen wird (Braus, 1929), entsteht bei den Säugetieren während der embryonalen Entwicklung die knöcherne Mandibula durch desmale Ossifikation. Dieser Vorgang beginnt etwa in der sechsten Entwicklungswoche p.c. im Bereich des späteren Foramen mentale. In der achten Entwicklungswoche beginnen sich im dorsalen Bereich der Mandibula Mesenchymzellen, die aus der Neuralleiste stammen, zu verdichten. Sie proliferieren in den folgenden zwei Wochen zum kondylären Knorpel (Keith, 1982). Dieser Knorpel bildet ein primäres Wachstumszentrum (Schumacher, 1991). Die knöcherne Entwicklung der Mandibula muss komplexer als eine reine linguale Resorption und eine bucale Apposition von Knochen angesehen werden. Sie ist von parallel ablaufenden Phasen der Resorption und Apposition von Knochen und von Ruhephasen von niedriger Aktivität bestimmt (Radlanski and Klarkowski, 2001; Radlanski et al., 2003).



Das Wachstum im Bereich des Collum und des Caput mandibulae verläuft durch chondrale Ossifikation (Furstman, 1963). In der achten Entwicklungswoche verdichten sich lateral und posterior des späteren Proc. condylaris mandibulae (im Folgenden als *Kondylus* bezeichnet) weitere Zellen, die den temporalen Anteil des späteren Kiefergelenks bilden. Etwa in der 10. Fetalwoche wird am Caput mandibulae sekundärer Gelenkknorpel erkennbar. In der 22. Fetalwoche ist er auch an der Fossa mandibularis ossis temporales nachzuweisen (Schumacher, 1991). Diese Wachstumszonen aus verdichteten Mesenchymzellen werden als temporales bzw. kondyläres Blastem bezeichnet (Alt und Türp, 1997). Die Blasteme treten zunächst mit einem gewissen Abstand voneinander auf. Der Abstand der Blasteme wird durch die rasche Proliferation des kondylären Blastems verkleinert. Zur Zusammenlagerung kommt es etwa in der 12. Fetalwoche (Keith, 1982). Die Ossifikation beginnt im temporalen Blastem. Zeitgleich entsteht etwa in der 11. Fetalwoche ein Spalt im kondylären Mesenchym durch Degeneration von Zellen, der den späteren inferioren Gelenkspalt bildet. Bei der Bildung von Knorpel im kondylären Blastem entsteht kranial ein weiterer Spalt, der dem späteren superioren Gelenkspalt entspricht. Diese zweite Spalte lässt in der 12. bis 14. Fetalwoche erstmals die Diskusanlage erkennbar werden (Nancy, 2013).

Das sekundäre Kiefergelenk, *Articulatio temporomandibulare* ist ein Anlagerungsgelenk, das aus zwei unabhängigen Knochen entsteht. Sie lagern sich vermutlich aufgrund ihrer topographischen Nähe zusammen (Schumacher, 1997) Am Ende der 14. Fetalwoche sind alle wesentlichen Anteile des Kiefergelenkes angelegt (Keith, 1982).

Die Form der artikulierenden Elemente des Kiefergelenks verändert sich auch postnatal. Die erste und die zweite Dentition führen zur Veränderung der funktionellen Beanspruchung des Kiefergelenks. Die Fossa articularis und das Tuberculum articulare werden so weiter modelliert (Schumacher, 1991; Benner et al., 1993). Der typische s-förmige Oberflächenverlauf der Facies articularis der Fossa mandibularis in der Sagittalebene ist bereits beim Eintritt in die 1. Wechselgebissphase ausgebildet.

Innerhalb der Mammalia weist das Kiefergelenk Anpassungen an die Art der Nahrung und der Nahrungsverarbeitung auf. Neben einigen Spezialformen können innerhalb der Säugetiere drei Kautypen nachgewiesen werden: Carnivora, Ruminantia und Rodentia. Der Mensch weist als Omnivor zahlreiche Besonderheiten des kraniomandibulären Systems auf, die unter Punkt 2.2 kurz dargestellt werden.

Bei den Carnivora greift ein zylindrischer oder walzenförmiger Kondylus in die tiefe Fossa mandibularis, die durch ein stark ausgeprägtes Tuberculum articulare und ein prominentes Tuberculum postglenoidale begrenzt ist. Die langen Eckzähne und die scharfen Reißzähne formen ein Brechscherengebiss. Zusammen mit dem großen physiologischen Querschnitt der Kaumuskeln, von denen der M. temporalis am stärksten ausgebildet ist (Schumacher, 1961; Benner et al., 1993) und der massiven Mandibula ist dieser Kautyp zu rotierenden Scherbewegungen und somit zum Zerschneiden von Fleisch und zum Zerbrechen von Knochen befähigt. Ein typischer Vertreter ist der südafrikanische Löwe *Panthera leo*.

Ruminantia wie das Hausrind (*Bos primigenius taurus*), die sich vor allem von langfaserigen Pflanzen ernähren, sind auf das Zermahlen dieser Energiequelle spezialisiert. Die Zähne sind durch flache Zahnleisten charakterisiert. Es fehlt ihnen also eine eindeutige Verschlüsselung von Ober- und Unterkiefer. Der flache Kondylus artikuliert mit der ebenfalls wenig ausgeprägten Fossa articularis. Ein Übereinandergleiten der beteiligten Strukturen in horizontaler Richtung wird ermöglicht. Der M. masseter ist hier der Muskel mit dem größten physiologischen Querschnitt (Schumacher, 1961).

Das Meerschweinchen (*Cavia aperea*) gehört zu der Gruppe der Rodentia. In seinem temporomandibulären System dominiert funktionell der M. masseter, wobei sein Faserverlauf vor allem anterior-posterior gerichtet ist und somit eine starke Protrusionskomponente ermöglicht wird. Die Schneidezähne sind stark ausgebildet, die Seitenzähne ähneln denen der Ruminantia. Die Fossa articularis ist ähnlich einer sagittal verlaufenden Rinne geformt. Der ebenfalls sagittal ausgerichtete walzenförmige Kondylus gleitet vor allem in anterior-posteriorer Richtung auf der Facies articularis (Schumacher, 1991; Benner et al., 1993).

Das Kiefergelenk des Menschen ist an die omnivore Ernährung angepasst. Es ermöglicht durch seine Anatomie sowohl gleitende als auch rotierende Bewegungen (Schumacher, 1961; Moffett, 1966).

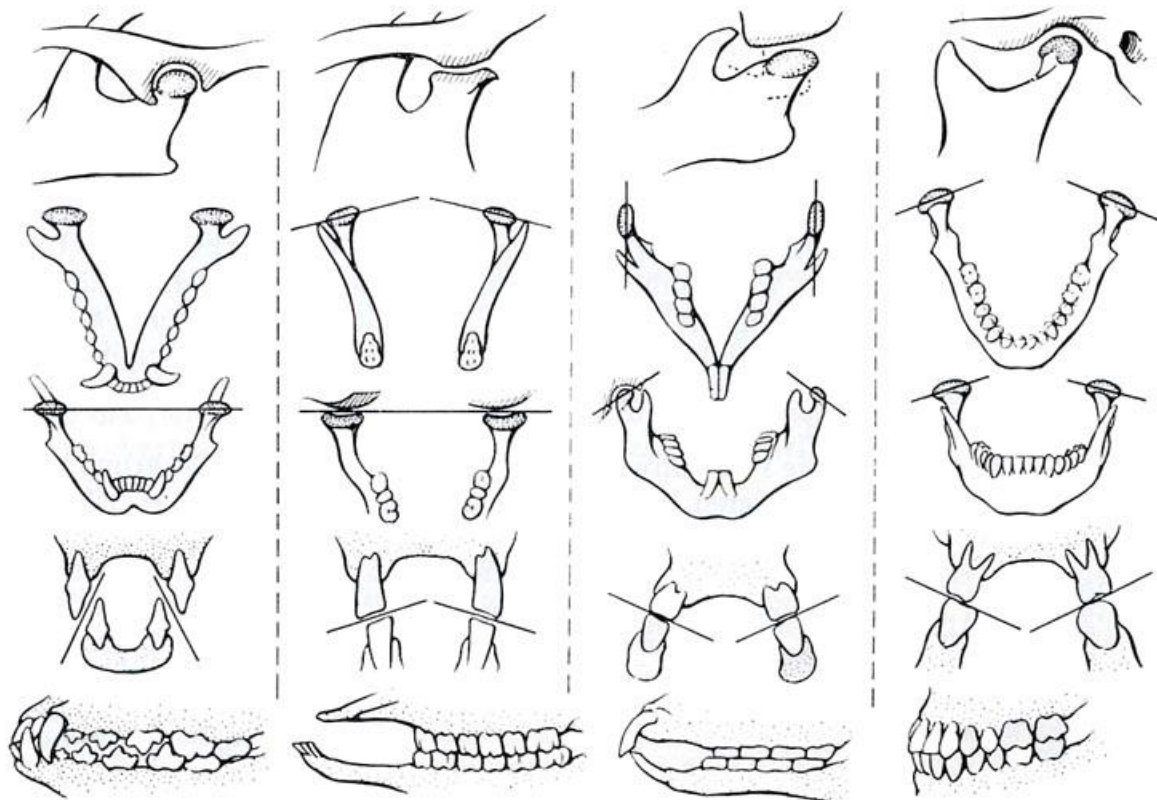


Abb. 1 Kiefergelenke, Interkondylarwinkel, transversale Höckerneigung, Zähne der verschiedenen Kautypen, von links nach rechts: Carnivora, Ruminantia, Rodentia, Mensch, Aus: Schumacher (1961) mit freundlicher Genehmigung des Verlages.

## 2.2 Aufbau und Funktion des menschlichen Kiefergelenks

Das Kiefergelenk stellt die bewegliche Verbindung zwischen Schädel und Mandibula dar und ermöglicht so eine Bewegung des Unterkiefers gegen den Schädel beim Kauen, Schlucken und Sprechen. Im Kiefergelenk artikulieren das Caput mandibulae des Processus condylaris mit der Fossa mandibularis der Pars squamosa ossis temporalis. Der bikonkave Discus articularis trennt das Gelenk in einen discotemporalen und einen discomandibularen Anteil. Umgeben sind diese Strukturen von einer relativ weiten Gelenkkapsel, die von der Schädelbasis zum Collum mandibulae zieht. Mehrere Bänder stabilisieren und limitieren das Kiefergelenk in seinen Bewegungen.

Die knöcherne Fossa mandibularis befindet sich anterior des Porus acusticus externus, inferior am Os temporale. Sie grenzt posterior an die Fissura petrotympanica und anterior an das Tuberculum articulare. Sowohl die Fossa mandibularis als auch große Anteile des Tuberculum articulare bilden die temporalen Anteile der Facies articularis des Kiefergelenks. Die Facies articularis ist im Sagittalschnitt s-förmig und besteht aus der konkaven Fossa

mandibularis und dem konvexen Tuberculum articulare (Freesmeyer, 2000). Der anteriore Teil der Fossa mandibularis ist wie das Tuberculum articulare mit Faserknorpel überzogen. Der posteriore Bereich der Fossa mandibularis liegt extracapsulär und ist von derbem Bindegewebe überzogen (Fanghänel et al., 2009).

Das Caput mandibulae ist in der Form sehr variabel (Yale et al., 1963; Solberg et al., 1985), wird jedoch meist als walzenförmig beschrieben. Die Kondylen sind nach medial rotiert und bilden bei Erwachsenen einen Interkondylarwinkel von  $139^\circ$  (Eisenburger et al., 1999). Die Längsachsen beider Kondylen treffen sich dabei im Bereich des Foramen magnum. Die Facies articularis des Kondylus ist ebenfalls mit Faserknorpel überzogen (Solberg, 1986; Werner et al., 1991). Die Faserknorpelschicht ist im zentralen Bereich der Facies articularis dicker als in den lateralen Bereichen (Fanghänel et al., 2009).

Der bikonkave, faserknorpelige Discus articularis wird meist in 3 Abschnitte eingeteilt: das anteriore Band, die intermediäre Zone und das posteriore Band (Werner et al., 1991; Benner et al., 1993). Er besteht in seinem zentralen Anteil aus straffem Bindegewebe. In seinen Randbereichen sind Chondrozyten nachweisbar. Der Bereich, der in der Ruheposition dem Kondylus aufliegt, enthält Faserknorpel (Schumacher, 1991).

Der Discus ist in seiner Zirkumferenz über lockeres Bindegewebe mit der Gelenkkapsel verbunden. Die Gelenkkapsel ist faltenreich und besitzt so Reservezonen, die bei den ausgeprägten Exkursionen der Mandibula von Vorteil sind (Aumüller und Wennemuth, 2014). Das Bindegewebe der Kapsel enthält auch elastische Fasern und ist stark vaskularisiert. In ihren lateralen Bereichen ist sie von kollagenen Fasern verstärkt, die sich als Ligamentum laterale abgrenzen lassen.

Posterior geht der Discus articularis in die sogenannte bilaminäre Zone über. Sie besteht aus dem Stratum superius, dem Genu vasculosum und dem Stratum inferius (Rees, 1954). Das Stratum superius inseriert an der Fissura tympanosquamosa im Bereich des Processus postglenoidalis, dem knorpeligen und knöchernen, äußeren Gehörgang und an der Faszie der Glandula parotidea. Es besteht aus elastischen und kollagenen Fasern. Das Stratum inferius inseriert dorsal am Kondylus. Es besteht aus straffem, kollagenem Bindegewebe. Das Genu vasculosum befindet sich zwischen dem Stratum superius und dem Stratum inferius und ist sehr fettreich und von Gefäßen und Nerven durchzogen. Die faserreichen Anteile der bilaminären Zone sind ein Teil des Mechanismus, der einer anterioren Discusdislokation

entgegenwirkt. Das Genu vasculosum spielt die zentrale Rolle in der Versorgung des Kiefergelenks (Bumann et al., 2000).

Das Kiefergelenk wird von verschiedenen Bändern geführt, stabilisiert und limitiert (Osborn, 1995). Die eigentlichen Bänder des Kiefergelenks sind dabei das Ligamentum laterale und mediale. Das Ligamentum laterale ist in einen horizontalen und einen vertikalen Anteil gegliedert. Der horizontale Anteil hemmt die Retrusion und die Laterotrusion und schützt die bilaminäre Zone vor Kompression. Der vertikale Anteil limitiert die maximale Mundöffnung (Osborn, 1989). Das Ligamentum mediale, auch Tanakas Ligament, ist eine mediale Verstärkung der Kapsel und ist so das mediale Äquivalent des Ligamentum laterale (Bumann et al., 2000).

Das Ligamentum stylomandibulare liegt in einiger Entfernung medial des Kiefergelenkes und verbindet den Processus styloideus mit dem ipsilateralen Kieferwinkel. Zusätzlich strahlen Faseranteile dieses Bandes in die Faszie des M. pterygoideus medialis ein (Sicher and DuBrul, 1975). Es limitiert Protrusions- und Mediotrusionsbewegungen. Das Ligamentum sphenomandibulare zieht von der Spina ossis sphenoidalis zur Lingula mandibulae und weist zudem variable Ansätze an der medialen Gelenkkapsel, der Fissura petrotympanica oder dem Ligamentum mallei anterior auf (Schmolke, 1994). Es limitiert die Protrusion und die Mediotrusion. Das Ligamentum discomalleare (engl. Pintos Ligament) verbindet den Malleus, die mediale Gelenkkapsel und den Diskus. Es zieht durch die Fissura petrotympanica (Kim et al., 2004) und kommt nicht in allen Kiefergelenken vor (Loughner et al., 1989).

Bewegungen im Kiefergelenk werden erst durch die Muskulatur möglich. Die Kaumuskulatur entstammt dem ersten Kiemenbogen und wird von den Ästen des N. mandibularis innerviert. Die Kaumuskeln, absteigend nach ihrem physiologischen Querschnitt beim Erwachsenen geordnet, sind der M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis (Schumacher, 1961, 1962). Der M. temporalis entspringt an der Linea temporalis superior und inferior des Os parietale sowie an der Facia temporalis des Os parietale und setzt am Processus coronoideus mandibulae und am Vorderrand des Ramus mandibulae an. Weitere Fasern können direkt oder indirekt über Fasern des M. masseter in den Discus articularis inserieren (Bade et al., 1994). Anatomisch sind die oberflächliche, dünne Muskelschicht und die dickere, tiefliegende Muskelschicht durch einen Sehnenspiegel voneinander getrennt. Durch die verschiedenen Faserrichtungen lässt sich der Muskel funktionell in 3 verschiedene Gruppen einteilen (Zwijnenburg et al., 1996). Die anterioren Fasern verlaufen vertikal und heben so den Unterkiefer. Die mittleren, schräg verlaufenden

Fasern ermöglichen den Mundschluss und die Retrusion. Die Pars posterior mit eher horizontal angeordneten Muskelfasern sorgen neben dem Kieferschluss vor allem für die Retrusion.

Der M. masseter teilt sich in die Pars superficialis, die am anterioren Jochbogen entspringt und an der Tuberositas masseterica lateral am Kieferwinkel inseriert, und in die Pars profunda, die am posterioren Anteil des Jochbogens entspringt und etwas kranialer an der Lateralfläche des aufsteigenden Unterkieferastes inseriert. Einige Muskelfasern ziehen zur Gelenkkapsel des Kiefergelenks und können somit die Kapselspannung verändern (Dauber, 1987). Seine Hauptaufgabe liegt jedoch im Kieferschluss und der Protrusion. Auch kleinere laterale Bewegungsanteile können möglich sein (Schumacher, 1991).

Der M. pterygoideus medialis bildet mit dem M. masseter eine Muskelschlinge um den Unterkieferwinkel. Er entspringt größtenteils in der Fossa pterygoidea des Processus pterygoideus ossis sphenoidalis und setzt an der medialen Fläche des Ramus mandibulae an. Der M. pterygoideus lateralis verläuft annähernd horizontal in der Fossa infratemporalis. Er weist ein Caput superius und ein Caput inferius auf. Das Caput superius entspringt an der Facies infratemporalis der Crista infratemporalis ossis sphenoidalis. Das Caput inferius entspringt fächerförmig an der Lateralfläche der Lamina lateralis des Processus pterygoideus ossis sphenoidalis. Die Fasern des Caput superius inserieren sehr variabel entweder in die Gelenkkapsel, den Discus articularis und in der Fovea pterygoidea des Proc. condylaris. Alternativ ist es möglich, dass die Muskelfasern nur an der Fovea pterygoidea oder aber nur in den Discus- Kapsel Komplex inserieren (Antonopoulou et al., 2013). Die Fasern des Caput inferius inserieren an der Fovea pterygoidea kaudal des Caput mandibulae (Schumacher, 1984). Zu den Funktionen gehören neben der Protrusion der Mandibula auch die Protrusion des Discus articularis (Schumacher, 1984). Die Abduktion des Unterkiefers wird durch das Zusammenwirken der suprahyalen und infrahyalen Muskulatur mit dem M. pterygoideus lateralis realisiert. Die infrahyale Muskulatur fixiert dabei das Os hyoideum kaudal. Bei gleichzeitiger Kontraktion der suprahyalen Muskulatur beginnt die rotierende Mundöffnung, die durch Kontraktion des M. pterygoideus lateralis um eine Translationsbewegung ergänzt wird. Bei maximaler Mundöffnung steuert reflektorisch die Kaumuskulatur entgegen. Eine Luxation des Kondylus über das Tuberculum articulare wird so verhindert. Bereits die Relaxation der Kaumuskulatur führt durch die Schwerkraft zu einer leichten Disklusion der Zahnreihen, der Ruheschwebelage (Drenckhahn und Benninghoff, 2003). In der

Ruheschwebelage ist das Caput mandibulae in einer zentralen Position in der Fossa mandibularis.

### 2.3 Form des Processus condylaris mandibulae

Obgleich das Caput mandibulae die Grundform einer Walze aufweist, sind zahlreiche Formvarianten möglich. Die Kategorisierung der Form des Processus condylaris mandibulae ist in der Vergangenheit durch zahlreiche Autoren in verschiedenen Bevölkerungsgruppen vorgenommen worden.

Yale et al. (1963) fertigten Fotos in der Norma dorsalis von über 400 Mandibulapräparaten aus der Terry-Sammlung der Washington University (St. Louis, Missouri) und der Sammlung des Museo Nacional de Antropologia (Mexico City) an. Sie nahmen eine Unterteilung der Kondylen in vier Formen vor: (1) elliptisch, (2) rund, (3) abgeflacht und (4) anguliert. Im Ergebnis waren 47,3 % der Kondylen elliptisch, 12,1 % rund, 27,2 % abgeflacht und 13,4 % anguliert. Die Autoren konnten weder einen signifikanten Zusammenhang zum Alter noch zum Geschlecht herstellen. 78,6 % der Unterkieferkondylen hatten auf der rechten und auf der linken Seite übereinstimmende Kondylusformen.

Christiansen et al. (1987) untersuchten CT Aufnahmen von Probanden mit und ohne Symptome einer craniomandibulären Dysfunktion. Beide Probandengruppen wiesen keine degenerativen Gelenkveränderungen auf. Die Kondylen wurden in die Kategorien von Yale et al. (1963) eingeteilt. Den Untersuchungen von Christiansen et al. (1987) zufolge waren 34 % der Kondylen flach, 43 % elliptisch, 19 % anguliert und 9 % rund. Solberg et al. (1985) untersuchten 46 Kondylen am Präparat und kategorisierte drei Formen. In die Kategorie leicht rundlich fielen 50 % der Kondylen, 30 % waren abgeflacht und 20 % anguliert. Obwohl Männer häufiger flache oder angulierte Kondylen hatten als Frauen, war der Unterschied nicht signifikant. Ueda et al. (2003) untersuchten CT-Aufnahmen von 317 japanischen Patienten mit Mittel- oder Innenohrerkrankungen im Alter zwischen 4 und 89 Jahren mit dem Ergebnis, dass 40% seiner Probanden symmetrische Kondylusformen hatten. Frauen hatten häufiger elliptische und Männer häufiger unregelmäßige Kondylusoberflächen. Ferrario et al. (1997) untersuchten Orthopantomogramme von 40 gesunden Norditalienern. Es wurden keine Formen kategorisiert, sondern die Oberfläche des einen Kondylus mit der Oberfläche des kontralateralen, um die vertikale Achse gespiegelter, Kondylus verglichen. Eine überwiegende Symmetrie der Kondylusformen rechts und links wurde beschrieben, wobei einzelne Probanden sehr starke Seitenunterschiede aufwiesen.

## 2.4 Postnatale Veränderungen der Form des Kondylus

Die Veränderung der Form des Kondylus wurde bisher in verschiedenen Untersuchungen mit teilweise konträren Ergebnissen thematisiert. Abgesehen von physiologischen Formveränderungen im Zusammenhang mit dem Wachstum des Kondylus in der Postnatalperiode (Chen et al., 1989; Xiang et al., 2001; Karlo et al., 2010), zeigen die meisten Untersuchungen, dass die häufig zu beobachtenden degenerativen Veränderungen meist multifaktoriell bedingt sind.

Degenerative Veränderungen sind vermehrt im lateralen Bereich des Kondylus zu beobachten und ihnen geht eine Degeneration, zunächst des Discus und im weiteren Verlauf der Knorpelanteile, voraus (Werner et al., 1991).

Wish-Baratz et al. (1996) kamen nach der Untersuchung von 229 Schädelpräparaten zu dem Ergebnis, dass die Größe des Kondylus keinen Zusammenhang zum Alter, dem Geschlecht oder der ethnischen Gruppe des Probanden hat. Koppe et al. (2007) zeigen allerdings, dass es Populationsunterschiede bezüglich der Fossa mandibularis gibt.

Radiologische und histologische Untersuchungen von 34 Kondylen durch Ishibashi et al. (1995) ergab mit steigendem Alter der Probanden eine Zunahme degenerativer Veränderungen und somit eine Veränderung der Form der Facies articularis des Kondylus. Zwischen dem 50. und 70. Lebensjahr imponierten hier beginnende Veränderungen der Kortikales. Bei den über 70-jährigen waren Abflachungen und polygonale Veränderungen der Form zu beobachten. Ishibashi et al. (1995) sehen neben dem Alter insbesondere einen Zusammenhang zur Okklusion. So berichten diese Autoren, dass das Fehlen von okklusalen Kontakten zu vermehrten Degenerationserscheinungen zu führen scheint. Im Tierversuch konnten Gazit et al. (1987) Änderungsvorgänge am Kondylus und den ihn umgebenden Knorpel nachweisen, nachdem sie Ratten einseitige Okklusionshindernisse zuführten.

Dass auch die Konsistenz der typischen Nahrung Einfluss auf die Dimensionen des Kondylus und auf seine umgebenden Weichgewebe hat, konnte unter anderem Bouvier (1988) bei Ratten nachweisen. Ein weiteres Ergebnis seiner Untersuchung war, dass die Adaptationsfähigkeit der Kiefergelenke von jungen Ratten deutlich höher ist, als die von adulten Tieren. Bei adulten Ratten gehen funktionelle Veränderungen deutlich häufiger mit Degeneration von Knorpel und Kompakta als mit Adaptation einher. Die Abnahme der regenerativen Fähigkeiten geht mit der Abnahme der proliferierenden Zellen im Knorpelgewebe einher, die histologisch beim Menschen bis zum 17. bzw. 18. Lebensjahr



nachweisbar sind (Thilander et al., 1976). Hinton (1981) kam zu dem Schluss, dass die Veränderung im Kiefergelenk ein multifaktorielles Geschehen ist, dass durch Zahn- und Stützzonenverlust sowie durch Ernährungsgewohnheiten geprägt ist.

Der Übergang in eine pathologisch degenerative Entwicklung beim Menschen ist häufig mit einer Verbreiterung und Abflachung des Kondylus assoziiert (Moffett et al., 1964). Die am stärksten ausgeprägten degenerativen Veränderungen entstehen meist im lateralen Anteil des Kiefergelenks (Hansson and Oberg, 1977). Auch der Verlust vertikaler Dimension durch Attrition der Zähne begünstigt degenerative Veränderungen der knöchernen Bestandteile des Kiefergelenks beim Menschen, wobei diese vermehrt in der Fossa mandibularis als am Kondylus auftreten (Richards and Brown, 1981). Im Gegensatz hierzu führt eine Zunahme der vertikalen Dimension durch, z.B. eine Distractionsschiene, zur Aufrichtung von deformierten Kondylen. Es ist in diesem Zusammenhang eine Zunahme der kranio-kaudalen Dimension des Kondylus zu beobachten, welche mit einer Homogenisierung der artikulierenden Flächen verbunden ist (McCormick et al., 1995).

## 2.5 Position des Kondylus in der Fossa mandibularis

Die Position des Kondylus in der Fossa mandibularis ist vor allem für die zahnmedizinische Prothetik von großer klinischer Bedeutung. Entsprechende Studien befassen sich vor allem mit der physiologischen, zentrischen Kondylenposition, die als erstrebenswerte Restaurationsgrundlage angesehen wird. Bereits Gysi (1926) beschrieb diese Position als okklusionsgeführte und okklusionsreproduzierbare Position der Kondylen in maximaler Interkuspidation. Diese zahngeführte Position ist heute als Kondylenposition in habitueller Okklusion von der tatsächlichen zentrischen Kondylenposition abzugrenzen, da diese Positionen nicht zwingend identisch sind (Hodge and Mahan, 1967; Böhm et al., 1995). Die zentrische Kondylenposition ist als seitensymmetrische Position der Kondylen ventrokranal in der Fossa mandibularis definiert (Utz et al., 2010).

Vitral et al. (2004) beschrieben die Kondylusposition bei 30 Patienten mit Angle Klasse II/1 nach der Analyse von CT Aufnahmen als anterior in der Fossa articularis verschoben. Der anteriore Abstand zwischen Kondylus und Fossa ist also kleiner als der posteriore. Zum gleichen Ergebnis kamen Rodrigues et al. (2009). Sie untersuchten 30 Patienten mit Angle Klasse I und Fehlokklusion. Auch bei der Untersuchung von 16 Patienten mit Angle Klasse III bestätigte sich diese Tendenz (Rodrigues et al., 2009). In einer Untersuchung von 30 15- bis 32-Jährigen ohne Malokklusion kamen Vitral et al. (2011) zu dem Ergebnis, dass auch bei dieser Kohorte der Kondylus anterior in der Fossa steht.

Pullinger et al. (1987) untersuchten Kiefergelenksaufnahmen bei asymptomatischen Zahnmedizinstudenten, die mit Hilfe eines Panoramaröntgengerätes erstellt wurden. Die Mehrzahl der Angle Klasse I-Probanden hatten eine Kondylenposition mit gleich großem Abstand zwischen Kondylus und Fossa anterior und posterior des Kondylus. Angle Klasse II/1-Probanden wiesen eine anteriore Position des Kondylus auf. Der anteriore Abstand zwischen Kondylus und Fossa war kleiner als der posteriore. In der Probandengruppe mit Angle Klasse II/2 und Angle Klasse III reichte die Anzahl der Probanden nicht, um eindeutige Aussagen zu treffen.

Ismail and Rokni (1980) untersuchten 40 symptomlose Zahnmedizinstudenten zwischen 20 und 30 Jahren. Die Auswertung transkranialer, schräger Kiefergelenksröntgenbilder ergab zentrische Positionen der Kondylen mit gleich großem Abstand anterior und posterior zwischen Kondylus und Fossa.

Gianelly et al. (1989) verglichen 36 Patienten mit Tiefbiss mit einer Kontrollgruppe mit 42 Probanden. Auf ähnlichen Kiefergelenksaufnahmen wie in der Untersuchung von Pullinger et al. (1987) wurde kein signifikanter Unterschied in der Kondylenposition festgestellt. Beide Gruppen wiesen eine sehr zentrale Kondylusposition in anterior-posteriorer Richtung auf. Die Tiefbisspatienten hatten jedoch eher eine posteriorere Tendenz der Kondylen in der Fossa mandibularis.

## 2.6 Postnatale Veränderung des Discus articularis

In Abhängigkeit des bildgebenden Verfahrens, das einer Untersuchung zugrunde liegt, wird die untersuchte Größe verschieden beschrieben. Zweidimensionale Röntgenbilder lassen in der Regel keine eindeutige Differenzierung der Weichgewebe zu. Hier ist es häufig der Gelenkspalt, der vermessen wird, um Rückschlüsse auf den Discus articularis zu ziehen. Je nachdem, mit welcher Auflösung dreidimensionale Untersuchungsverfahren durchgeführt werden, ist es auch hier schwierig den Discus articularis klar zu diskriminieren und zu vermessen. Eindeutige Aussagen zu Eigenschaften des Discus articularis lassen jedoch nur makroskopische und histologische Untersuchungen an Präparaten zu.

Den Einfluss der okklusalen Beziehungen auf die Histologie des Discus articularis untersuchten u.a. Sindelar et al. (2002) an Minischweinen. Sie führten durch Schienen unter anderem eine Unterkieferprotrusion herbei und beobachteten neben der Dickenzunahme des posterioren Bandes eine veränderte Ausrichtung der kollagenen Fasern im anterioren Band.

Der Einfluss einer anterioren Diskusdislokation auf das Diskusgewebe untersuchten Mills et al. (1994) an neuseeländischen weißen Hasen und stellten makroskopisch eine Verdickung des posterioren Bandes und einen Verlust an bikonkaver Form fest. Histologisch wurde eine hohe Reorganisation der kollagenen Fasern beobachtet.

Ob Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) einen Einfluss auf das Weichgewebe kranial des Kondylus hat, ist in der Literatur umstritten. Einige Studien kamen zum Ergebnis, dass symptomlose Probanden auf MRT-Aufnahmen dickeres Weichgewebe kranial des Kondylus besitzen als Patienten mit CMD-Symptomatik (Lemke et al., 2005; Peroz et al., 2011).

Im Gegensatz hierzu stellten Wang et al. (2009) mittels MRT-Untersuchungen bei Patienten mit CMD einen dickeren Discus articularis fest als bei symptomlosen Vergleichsprobanden. Okur et al. (2012) werteten CT-Aufnahmen aus und stellten in dieser Frage keinen Unterschied zwischen CMD-Patienten und symptomlosen Probanden fest.

Festsitzende, funktionskieferorthopädische, nicht chirurgische Therapie von Malokklusionen mittels Herbstschanieren führten zu einer Verbesserung der Diskus-Kondylus-Beziehung, wobei leichte anteriore Diskusverlagerungen korrigiert werden konnten (Haass, 2007). Richter et al. (2001) und Haass (2007) konnten auf den MRT-Aufnahmen jedoch keine Änderung der Größe des Gelenkspaltes nach einer kieferorthopädischen Behandlung mittels Herbstschanieren feststellen. Csaszar et al. (2000) kamen bei einer Untersuchung von Patienten vor und nach einer Umstellungsosteotomie zu ähnlichen, nicht signifikanten Veränderungen der Gelenkspaltgröße auf CT-Aufnahmen. O'Byrn et al. (1995) untersuchten Patienten mit einseitigem distalen Kreuzbiss und verglichen sie mit neutralverzahnten Patienten mit Hilfe von CT-Aufnahmen. Sie konnten einen größeren Gelenkspalt kranial des Kondylus bei den Probanden mit Kreuzbiss feststellen, jedoch waren diese Abweichungen nicht signifikant. Sowohl auf der Seite mit Kreuzbiss als auch auf der kontralateralen Seite ließ sich diese Abweichung beobachten.

Das physiologische Kauverhalten hat nach Untersuchungen von Ismail and Rokni (1980) offenbar einen Einfluss auf die Dicke des Weichgewebes zwischen Kondylus und Fossa mandibularis. Sie sahen einen Zusammenhang zwischen der bevorzugten Kauseite und der Weichgewebsdicke kranial des Kondylus in zentrischer Kondylenposition. Sie stellten fest, dass auf der Mediotrusionsseite dickeres Weichgewebe messbar war, als auf der Laterotrusionsseite. Dieser Untersuchung lagen Messungen des Gelenkspaltes auf Spezialröntgenaufnahmen des Kiefergelenkes zugrunde.

Werner et al. (1991) sahen für den Unterschied der Dicke des Weichgewebes den mechanischen Stress als Ursache. Dieser führt zur Abflachung des Weichgewebes auf dem lateralen Kondylusanteil sowie zu einer reaktiven Verdickung der Kompakta. Bei degenerativen Prozessen stellten Werner et al. (1991) fest, dass es zunächst zur Reduktion der lateralen Weichgewebsdicke kommt. Die fortschreitende Degeneration kann nachfolgend zu Perforationen des Discus articularis führen, bis es schließlich zur Veränderung der Kompakta des Tuberculum articulare kommt. Bei dieser Untersuchung handelte es sich um eine anatomische und histologische Analyse von menschlichen, anatomischen Präparaten. Wang et al. (2012) stellten bei der histologischen Untersuchung von Ratten mit entzündeten Kiefergelenken dickere Disci articulares fest, als bei der Untersuchung der Kontrollgruppe.

## 2.7 Diagnostik am Kiefergelenk

Die klinische und funktionelle Kiefergelenksdiagnostik ist in der Praxis der wichtigste Teil der Diagnostik. Hupfaut et al. (1995) empfehlen dabei ein standardisiertes Vorgehen, das neben einer ausführlichen Anamnese die Untersuchung der Unterkieferbewegungen sowie die Palpation der beteiligten Muskeln umfassen sollte. In den meisten Fällen führt dieses Vorgehen zu einer eindeutigen Diagnose. Wenn keine zufriedenstellende Diagnose gestellt werden kann oder ein Befund weiterer Abklärung bedarf, wird ein bildgebendes Verfahren zur Feindiagnostik eingeleitet.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, das Kiefergelenk mit bildgebenden Verfahren darzustellen. Je nach Auflösung, Verfügbarkeit, Hart- und Weichgewebsdarstellung ist im Einzelfall je nach Indikation eines der nachfolgend beschriebenen Verfahren im klinischen Alltag zu bevorzugen. Es gibt die Möglichkeit das Kiefergelenk zweidimensional oder dreidimensional darzustellen.

Zweidimensionale Röntgenaufnahmen werden in transkranielle Spezialaufnahmen (wie z.B.: die Clementschitschaufnahme, die Aufnahme nach Parma und die Aufnahme nach Moffat) und in die Panoramaschichtaufnahmen unterteilt. Eine weitere 2D-Bildgebung ist über die Ultraschalluntersuchung möglich. Zu den 3D-Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen gehört sowohl die Computertomografie (CT) als auch die Digitale Volumentomografie DVT. Eine 3D-Aufnahme ohne Röntgenstrahlen ist durch die MRT möglich (Bumann et al., 2000).

Die Clementschitschaufnahme ist eines von verschiedenen transkraniellen Röntgenverfahren zur Darstellung der Kiefergelenke. Es hat einen posterior-anterioren Strahlengang, der um 15° dorsal exzentrisch eingestellt wird. Der Austritt des Zentralstrahls ist etwa im Bereich der

Nasenwurzel. Die Filmebene befindet sich vor dem Gesicht. Um die Kiefergelenke frei zu projizieren, muss der Patient den Mund maximal geöffnet haben. Der Kondylus ist in koronarer Ausdehnung diagnostizierbar. Die effektive Strahlendosis ist mit der eines Fernröntgenseitenbildes zu vergleichen und liegt bei ca. 2-3  $\mu\text{Sv}$  (Patel und Sandler, 2009).

Die Orthopantomographie (OPG, Panoramaschichtaufnahme) ist eine 2D-Übersichtsaufnahme von Oberkiefer, Unterkiefer, Kiefergelenken und angrenzenden Strukturen, wie Teilen des Sinus maxillaris, der Orbita, des Proc. styloideus, des Proc. mastoideus und des Os hyoideum. Während der Aufnahme rotieren der Strahler und das Speichermedium gleichsinnig um mehrere Rotationsachsen um den Kopf des Patienten, der in einer starren Position verharrt. Filmnahe Objekte werden scharf dargestellt, wohingegen filmferne Objekte unscharf dargestellt werden. Die mittlere effektive Dosis bei digitalen Verfahren liegt bei 45 $\mu\text{Sv}$  (Kiefer et al., 2004).

Die klassische Computertomographie (CT) ist eine röntgenstrahlenbasierte Aufnahme. Die mittlere effektive Dosis liegt bei 788  $\mu\text{Sv}$  (Ludlow and Ivanovic, 2008; Loubele et al., 2009). Ein Strahler, der einen ebenen Strahlenfächer erzeugt, rotiert axial um die zu untersuchende Region des Patienten. Ein gegenüberliegender Detektor registriert die Abschwächung der Röntgenstrahlung und erhält so eine Schwächungsverteilung der untersuchten Schicht, die in ein transversales Schnittbild umgerechnet werden kann. Werden mehrere Schichten so untersucht, ist es möglich, die Informationen in ein beliebiges Schnittbild oder eine 3D-Rekonstruktion umzurechnen.

Eine Modifikation des CTs ist das Spiral-CT, bei dem der Patient in axialer Richtung kontinuierlich durch den rotierenden Strahler hindurchbewegt wird. Es entsteht direkt ein 3D-Datensatz. Das Verfahren reduziert die Untersuchungszeit deutlich. Das CT eignet sich sowohl für die Hart- als auch für die Weichgewebsdiagnostik.

Die Digitale Volumentomographie (DVT) ist ein röntgenstrahlenbasiertes Verfahren, bei dem das gesamte zu untersuchende Volumen mit einem kegelförmigen Strahl durchleuchtet und einmal umkreist wird. Ein gleichsinnig kreisender Sensor registriert während einer Umdrehung mehrfach diese Strahlung und errechnet so aus den einzelnen 2D-Aufnahmen den 3D-Datensatz. Eine Rekonstruktion von Schnittbildern ist auch hier in den Raumebenen möglich. Das DVT eignet sich vor allem zur Hartgewebsdiagnostik. Die mittlere effektive Dosis liegt bei 221 $\mu\text{Sv}$  (Ludlow and Ivanovic, 2008; Loubele et al., 2009).

Die Sonographie ist eine ultraschallwellenbasierte Methode um 2D-Schnittbilder des Kiefergelenks zu erstellen (Motoyoshi et al., 1998; Emshoff et al., 2002). Es werden Ultraschallwellen von einem Schallkopf ausgesendet und die reflektierten und geschwächten Ultraschallwellen wieder registriert. Durch mehrfach wiederholtes Emittieren und Registrieren von Ultraschallimpulsen kann so ein Schnittbild erstellt werden. Dieses Verfahren eignet sich vor allem zur Untersuchung des Weichgewebes des Kiefergelenks von lateral und von posterior.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein Verfahren, das aus Schichtaufnahmen 3D-Rekonstruktionen oder Schnittbilder beliebiger Richtung erzeugt. Im Unterschied zum CT und zum DVT nutzt das MRT nicht die unterschiedliche Röntgenopazität der durchstrahlten Objekte, um dreidimensionale Bilder zu errechnen. Mithilfe eines starken äußeren Magnetfeldes werden Wasserstoffprotonen, die einen Eigendrehimpuls haben, in kreiselnde Bewegung mit bestimmter Frequenz um die Richtung des äußeren Magnetfeldes versetzt. Wird nun eine Energie in Form einer elektromagnetischen Welle induziert, beginnen die ausgerichteten Protonen zu schwingen. Nach der Abschaltung der induzierten Energiewelle, kehren die Protonen in ihren ursprünglichen Zustand zurück. Es wird in einem bestimmten Zeitintervall die zugeführte Energie frei. Dieses Zurückkehren in den ursprünglichen Zustand ist gewebespezifisch und ermöglicht so eine Unterscheidung dieser. Kompakter Knochen und Luft sind Protonen - und somit signalarm. Es resultieren dunkle Areale im MRT. Fett ist protonenreich und wird damit hell abgebildet. Muskulatur und Knorpelgewebe sind dazwischen einzuordnen und sind in Grauabstufungen im MRT sichtbar. Um faserhaltiges Gewebe darzustellen, ist eine T1-gewichtete Aufnahme optimal. Dies ist in den Scanparametern einzustellen. T2-gewichtete Aufnahmen optimieren die Darstellung wasserhaltiger Gewebe. Weiterhin können fettgewebsunterdrückende Sequenzen zur Darstellung von Wasseransammlungen in Geweben angefertigt werden (Kordass und Hugger, 2011).

Vorteile der klassischen 2D-Röntgenaufnahmen und des OPGs sind die geringe Strahlenbelastung bei den Aufnahmen. In der Darstellbarkeit der knöchernen Strukturen und kortikaler Veränderungen ist das DVT deutlich überlegen (Honey et al., 2007). Im DVT sind jedoch ausschließlich knöcherne Gewebe darstellbar. Bei der Weichgewebsdarstellung der Kiefergelenke ist das MRT der Sonographie trotz seiner hohen Kosten und der geringen Verfügbarkeit überlegen, da die Sonographie zur Darstellung medialer Anteile ungenügend ist (Katzberg, 2012). Das MRT ist als röntgenstrahlenfreie Bildgebung dem CT mit ähnlicher

Weichteil und Hartgewebsdarstellung aber hoher effektiver Dosis vorzuziehen. Es zählt derzeit als umfassendste Möglichkeit der Bildgebung in der Kiefergelenksdiagnostik (Venetis, 2015).

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Study of Health in Pomerania (SHIP)**

Die Studie „Leben und Gesundheit in Vorpommern“ (engl. Study of Health in Pomerania, SHIP) ist eine epidemiologische randomisierte Kohortenstudie in der Region Vorpommern im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern. Sie wurde 1997 vom Forschungsverbund *Community Medicine* initiiert, um die Prävalenz und Inzidenz von Risikofaktoren und Erkrankung in dieser Region zu ermitteln. Die Ausgangskohorte wurde in Abständen von 5 Jahren dreimal untersucht und als SHIP-0, SHIP-1 und SHIP-2 bezeichnet. In SHIP-0, der Ausgangstudie, wurden von Oktober 1997 bis Mai 2001 2193 Frauen und 2115 Männer zwischen 20 und 79 Jahren untersucht. SHIP-1 stellt die erste Follow-Up-Studie dar. SHIP-1 erstreckte sich über den Zeitraum von Oktober 2002 bis zum Sommer 2006 und beinhaltete 3300 Probanden. Seit 2007 wird in der zweiten Follow-Up-Studie SHIP-2 die Kohorte zum dritten Mal untersucht. Parallel dazu erfolgte zwischen 2008 und 2011 die Erhebung einer zweiten unabhängigen Kohorte (SHIP-Trend-0) mit einer Größe von 4420 Probanden (Bülow, 2017). Die SHIP-Trend-0 Kohorte ist sowohl nach Alter als auch nach Geschlecht bereinigt und wurde aus der zentralen Registerdatenbank des Landes Mecklenburg-Vorpommern generiert (Völzke et al., 2011; Völzke, 2012).

Die SHIP-Studie ist konsistent mit der Deklaration von Helsinki (World-Medical-Association, 2013) und wurde vom Ethikkomitee der Universität Greifswald genehmigt. Von jedem Probanden liegt eine schriftliche Einwilligung über die Verwendung der generierten Daten vor. Die Studienpopulation wurde aus Gemeinden der ehemaligen Landkreise Ost- und Nordvorpommern sowie den Städten Greifswald und Stralsund akquiriert. In den insgesamt zwölf 5-Jahres-Alters-Gruppen wurden je Geschlecht 292 Teilnehmer in einem zweistufigen Verfahren ausgewählt. Zunächst wurden 32 Gemeinden aus der Region ausgewählt (Abb. 2). Im zweiten Schritt wurden aus den Karteien der Einwohnermeldeämter per Zufallsprinzip Probanden ermittelt, welche nach Alter und Geschlecht stratifiziert wurden (John et al., 2001).



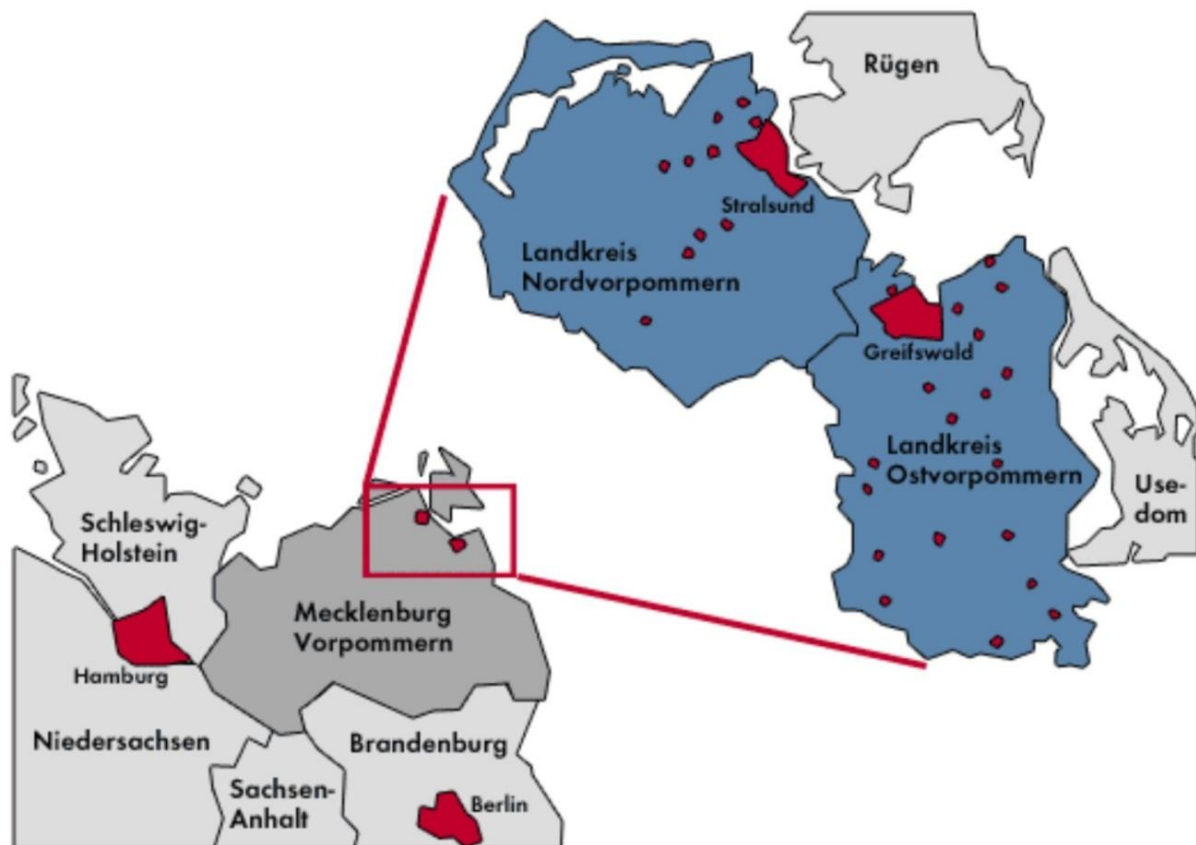


Abb. 2 Übersichtskarte von Nord-Ost-Deutschland; vergrößert: Region Vorpommern-Greifswald, bestehend aus den Landkreisen Nordvorpommern (ausgenommen Darß und Rügen), Ostvorpommern (ausgenommen Usedom), Greifswald und Stralsund, Blau und Rot eingefärbt: Region der Stichprobe für SHIP

Zum Untersuchungsprogramm der SHIP-Studie gehören ein computergestütztes Interview, ein Selbstausfüllbogen, eine zahnmedizinische Untersuchung und ein medizinischer Untersuchungsteil mit umfassender Labordiagnostik. Unter anderem wurden folgende Untersuchungen unter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung vorgenommen: Elektrokardiogramm, Echokardiographie, Leberultraschall, Karotis- und Schilddrüsenultraschall, Blutdruckmessung und Laboranalytik (Ludemann et al., 2000). Als Teil der Untersuchungen wurde sowohl für SHIP-2 als auch für SHIP-TREND-0 ein Ganzkörper-MRT angefertigt. Ziel dieser Untersuchungsmethode ist es, neben der Prävalenz von Auffälligkeiten im MRT einer repräsentativen Kohorte, bevölkerungsbezogene Referenzparameter z.B. über Organgrößen zu erhalten, da die gebräuchlichen Parameter entweder von kleinen Kohorten oder nicht repräsentativen Kohorten stammen und somit Verzerrungen aufweisen können (Hegenscheid et al., 2009).

Die Probanden durchliefen ein standardisiertes MRT-Untersuchungsprotokoll. Alle Untersuchungen erfolgten an einem 1,5-Tesla MR-Tomographen (Magnetom Avanto; Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) (Abb. 3) in der Universitätsmedizin Greifswald. Im Zeitraum vom 25.09.2008 bis zum 25.05.2011 wurden 1731 Probanden untersucht. Diese wurden in Rückenlage positioniert. Es wurden fünfphasige Oberflächenspulen an Kopf, Hals, Abdomen, Becken und an den unteren Extremitäten platziert. Im Tisch befand sich die Wirbelsäulen-Spule. Zwei trainierte Medizinisch-Technische Radiologieassistenten führten die Untersuchung nach standardisierten Abläufen durch. Anschließend wurden die Datensätze von 2 zertifizierten Radiologen mit mehr als 5 Jahren Berufserfahrung ausgewertet und auf Pathologien untersucht (Hegenscheid et al., 2009). Vorliegende Pathologien wurden nach einem Stufenplan in 4 Kategorien eingeteilt (Tab. 1).

Tab. 1 Verfahren bei pathologischen Befunden

Kategorie	Bedeutung
I	Keine Intervention nötig; keine pathologischen Befunde; asymptomatische Befunde (z.B. Sinusitis)
II	Routinemäßige Intervention; Die Befunde erfordern keine sofortige oder dringende medizinische Betreuung, aber werden dem behandelnden Arzt mitgeteilt (z.B. alte Frakturen)
III	Dringende Intervention; Behandlung während der Studie nötig, es handelt sich jedoch um keinen Notfall; (z.B. gering gradiges Astrozytom)
IV	Sofortige Intervention (z.B. Subdurales Hämatom)



Abb. 3 1,5 Tesla Magnetresonanztomograph (Magnetom Avanto; Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) der Study of Health in Pomerania

Tab. 2 Übersicht der verwendeten SHIP MRT-Sequenzen des Gehirns, auf denen auch die Kiefergelenke sichtbar sind (Hegenscheid et al., 2009)

Sequenz	TR (msec)	TE (msec)	Flip angle	Voxel gröÙe (mm)	Scan time (min)
Sag T2 TSE	26 100	1020	180°	1,2 x 0,9 x 3,0	0:46
Ax T2 FLAIR	50 000	3250		0,9 x 0,9 x 3,0	3:47
Ax T1 MPR	19 000	34	15°	1,0 x 1,0 x 1,0	3:38
Ax DWI	36 000	890		1,2 x 1,2 x 5,0	1:10
Ax T2 SWI 3D	490	400	15°	1,1 x 0,9 x 3,0	2:35
Ax TOF Angiographie	230	70	25°	0,7 x 0,7 x 0,7	3:23

### 3.2 Material

Für die Auswertung der Kiefergelenke stand der Datensatz >Kopf\_t1\_mpr\_tra\_iso\_p2< in 1 mm Schichtung zur Verfügung, welcher unter Punkt 3.1 im Rahmen der SHIP-Studie beschrieben wurde (Tab. 2). Von allen generierten Datensätzen, auf denen das Kiefergelenk beurteilbar ist, weist dieser die höchste Auflösung auf. Grundlage der vorliegenden Arbeit sind die Datensätze aus SHIP-TREND-0. Diese wurden durch die zwei Observer, Herrn Robert Mühlig und Herrn Franz Krüger, unabhängig voneinander vermessen.

Von 707 Probanden war bei 696 Probanden der für unsere Untersuchung relevante Kopf-MRT-Datensatz vorhanden beziehungsweise auswertbar. Von den 707 Probanden waren 346 männlich und 361 weiblich. Die Probanden wurden weiter in sechs Altersgruppen unterteilt, um einen bevölkerungsspezifischen Querschnitt zu erhalten und Aussagen zur Altersveränderung treffen zu können (Tab. 3). Die Einteilung in Altersgruppen entspricht der demografischen Verteilung der Bevölkerung in der untersuchten Region.

Tab. 3 Unterteilung des Probandengutes nach Geschlecht und Alter

Altersgruppen		Männlich		Weiblich	
	Alter in Jahren	Anzahl der Probanden	Datensätze vorhanden	Anzahl der Probanden	Datensätze vorhanden
AG 1	20 - 29	31	30	23	22
AG 2	30 - 39	43	42	53	51
AG 3	40 - 49	75	75	87	87
AG 4	50 - 59	80	78	89	87
AG 5	60 - 69	68	67	77	77
AG 6	69 <	49	49	32	31
gesamt		346	341	361	355

Die Auswertung der Probanden erfolgte auf einem 27“ iMac (Intel Core i5, 3,5 GHz, 16GB RAM, 6 MB L3 Cache, Grafikchipset AMD Radeon HD 6970M, 1024 MB VRAM) von Apple aus dem Jahre 2010, und einem zweiten Monitor der Marke Samsung mit der Modellbezeichnung SyncMaster SA 300 aus dem Bestand der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Greifswald.

Die Vermessungen der Kiefergelenke erfolgte mithilfe der 3D MPR (Multiplanare-Rekonstruktion) des Datensatzes >Kopf\_t1\_mpr\_tra\_iso\_p2< in Osirix (v3.8.1). Osirix ist ein Open Source-Programm für Mac, das von Antoine Rosset und Dr. Osman Ratib am Department of Radiology and Medical Computing of Geneva (Schweiz) entwickelt wurde (Jalbert and Paoli, 2008). Osirix steht ausschließlich für das Betriebssystem Mac OS X zur Verfügung. Für die Auswertung wurde ein Plug-In von Herrn René Laqua, Institut für diagnostische Radiologie und Neuroradiologie Greifswald, entwickelt, das für jede Messung ein Messtool zur Verfügung stellt und gleichzeitig den gemessenen Wert automatisch in eine Extensible Markup Language (xml)-Datei überführt (Abb. 4).



Abb. 4 Beispiel der Benutzeroberfläche des Plug-In

### 3.3 Methoden

#### 3.3.1 Webanwendung

Zur Auswertung wurde eine online basierte Webanwendung eingerichtet, auf der sich der jeweilige Observer (Robert Mühlig; Franz Krüger) zunächst mit Benutzername und Kennwort anmeldete. Danach erfolgte die Auswahl des Probanden, indem die Probandennummer in die Webanwendung eingetragen und das Auswahlfeld Kiefergelenk angeklickt wurde. In der Webanwendung wurde das Vorhandensein des Datensatzes, die Messbarkeit des Kondylus

und des ihn umgebenden Weichgewebes mittels Entscheidungsfragen ermittelt. Wurde eine dieser Fragen verneint, entfielen die entsprechenden Messungen. Ein Textfeld öffnete sich, in das eine Begründung (z.B. „Fehler beim Öffnen der Datei“ oder „Überblendungsartefakt“) eingegeben wurde. Die Webanwendung enthält zudem ein Feld, in dem im Anschluss Anomalien bzw. auffällige Befunde abgefragt werden. Dieses Vorgehen wurde für den linken Kondylus wiederholt und die generierte xml-Datei abschließend hochgeladen (Abb. 5).

**SHIP - Datenerfassung**

logout | start | Profil | Fehler | Reparatur | Info

**Franz Krüger** in der Rolle  
MRT Assoziierte Projekte

**Kiefergelenk**

Datensatz vorhanden?	Ja
rechter Kondylus messbar	Ja
re. Form	rund
re. Weichgewebe messbar	Ja
re. Anomalien	Keine
linker Kondylus messbar	Ja
li. Form	Scheitelpkt. med.
li. Weichgewebe messbar	Ja
li. Anomalie	Keine
Datei Hochladen	(upload_568236e_13f63a2eb61__7ffb_00001681.tmp) Durchsuchen... Keine Datei ausgewählt.

fertig

Abb. 5 Übersicht der Webmaske zur Datenerfassung

### 3.3.2 Reading procedure

Zur Auswertung wurde zunächst ein beliebiger Proband in Osirix auf dem externen Monitor ausgewählt und der entsprechende Datensatz >Kopf\_t1\_mpr\_tra\_iso\_p2< auf dem 27“ Monitor des iMacs geöffnet. Die gesamte Befunderhebung fand auf diesem Monitor statt (Abb. 6).



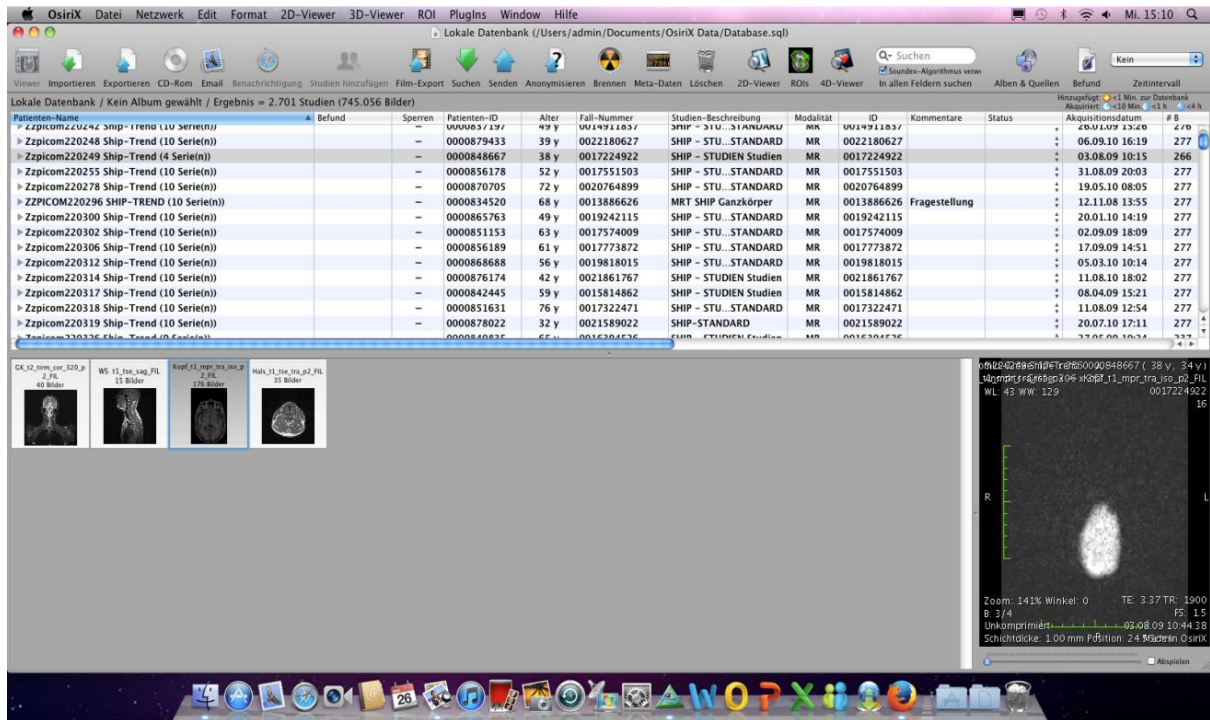


Abb. 6 Benutzeroberfläche von Osirix mit einem Ausschnitt der Datenbank

Dieser Kopfdatensatz wurde mithilfe der 3D MPR-Funktion von Osirix dreidimensional berechnet. Hierbei entstanden drei Unterfenster, in denen der Kopfdatensatz in drei senkrecht zueinanderstehenden Ebenen dargestellt wurde. Der Datensatz ließ sich in 0,1 mm dicken Schichten durchfahren. Die farbigen Achsen auf den Schnittbildern symbolisieren die Schnittebene auf den jeweils anderen Schnittbildern. Durch Rotation der Achsen in einem Schnitt ließen sich die Schnittrichtung der anderen Darstellungen beeinflussen (Abb. 7).



Abb. 7 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion der Kopfsequenz eines 38-jährigen männlichen Probanden, a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld

### 3.3.2.1 Ausrichtung der Schnittebenen zur Frankfurter Horizontalen Ebene

Observer 1 (Robert Mühlig) legte die Ebenen im MRT-Datensatz fest, in denen gemessen und kategorisiert wurde. Hierzu wurden pro Proband alle erforderlichen Schnittbilder der 3D MPR-Berechnung im DICOM-Format exportiert (vergl. Absatz 3.3.2.2). Da die Probanden mit variabler Inklination des Kopfes im MRT positioniert waren, erfolgte zunächst die Ausrichtung des dreidimensionalen Datensatzes eines jeden Probanden anhand der Frankfurter Horizontalen als Bezugsebene entsprechend der Empfehlung von Daboul et al. (2012). Die Frankfurter Horizontale wird durch den höchsten Punkt des Margo superior des rechten und linken Porus acusticus externus (Porion, Po) und durch den tiefsten Punkt des Margo inferior der linken knöchernen Orbita (Orbitale, Or) definiert. Im koronaren und transversalen Arbeitsfeld wurde hierzu zunächst das rechte Porion aufgesucht und das Achsenkreuz auf diesen Punkt zentriert (Abb. 8).



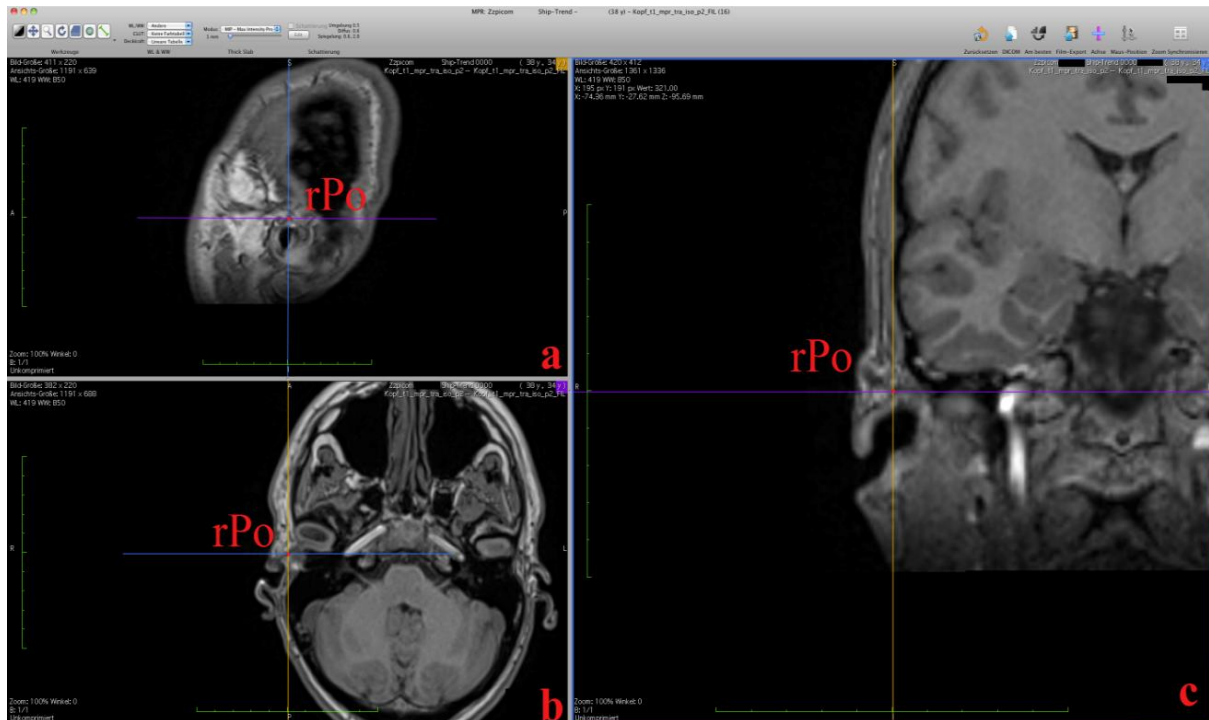


Abb. 8 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, das Achsenkreuz befindet sich auf dem rechten Porion (rPo), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld

Nun wurde das linke Porion als 2. Punkt der Frankfurter Horizontalen in die Ausrichtung des Probanden einbezogen. Hierzu wurde durch Rotation des Achsenkreuzes um das rechte Porion sowohl die lilafarbene Achse im koronaren Bild (Abb. 9c) als auch die blaue Achse im transversalen Bild (Abb. 9b) durch das linke Porion gelegt. Porion links und Porion rechts waren sowohl im transversalen als auch im koronaren Arbeitsfeld sichtbar. Das sagittale Arbeitsfeld (Abb. 9a) zeigte das rechte Porion. In diesem Arbeitsfeld ließ sich die Positionierung des linken Porions zusätzlich durch Scrollen des Mausekzes kontrollieren.

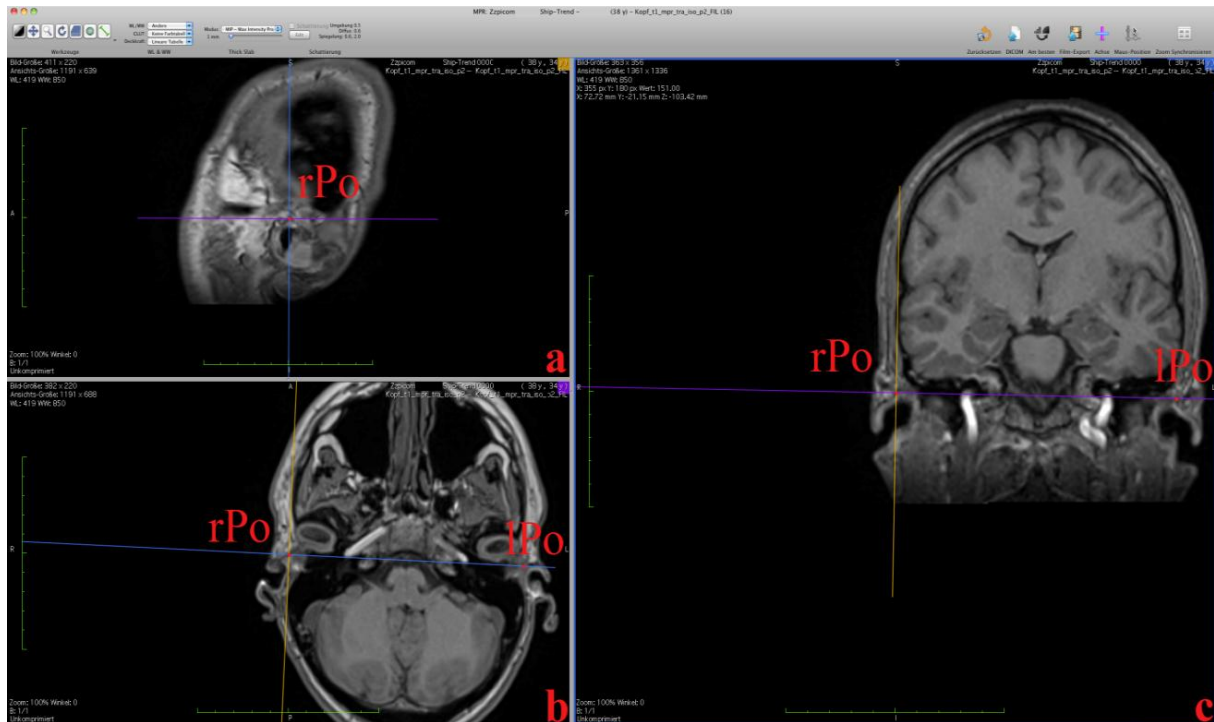


Abb. 9 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, die koronare (blau) und die transversale (lila) Ebenen schneiden das rechte und das linke Porion (rPo, lPo), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld

Für den dritten Punkt der Frankfurter Horizontalen wurde im sagittalen Arbeitsfeld das linke Orbitale aufgesucht. Das Achsenkreuz blieb unverändert auf einem Punkt zwischen dem rechten und dem linken Porion. Durch Rotation wurde die lilafarbene Achse so lange bewegt, bis sie das linke Orbitale traf (Abb. 10 a). Das transversale Arbeitsfeld zeigte nun den Schnitt durch die Frankfurter Horizontale (Abb. 10 b).



Abb. 10 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, Rotation der transversalen Ebene (lila) um die Gerade durch rPo und lPo (blau in b) bis durch den linken Infraorbitalpunkt (Or), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld

### 3.3.2.2 Exportieren von Schnittbildern des Kondylus als Grundlage der Vermessung

Im Folgenden wurden pro Proband sechs Bilder exportiert, auf denen der Kondylus und seine umgebenden Gewebe von beiden Observern vermessen wurden. Sie sind nachfolgend als "Bild 1" bis "Bild 6" bezeichnet. Die Grundlage hierfür war die Ausrichtung der jeweiligen multiplanaren Rekonstruktion (vergl. Punkt 3.3.2.1) nach der Frankfurter Horizontalen. In dieser Rekonstruktion wurde sich ausschließlich parallel beziehungsweise senkrecht zur Frankfurter Horizontalen bewegt, um die anatomischen Strukturen aufzusuchen und die Bilder zu generieren. Dies wurde praktisch im Programm durch Scrollen mit dem Mausrad durch die Schichten gewährleistet. Im transversalen Arbeitsfeld konnte zusätzlich das Achsenkreuz bewegt werden, ohne hierdurch die parallele Ausrichtung zur Frankfurter Horizontalen zu verändern.

Bild 1 und Bild 2 sind Transversalschnitte durch die maximale schräg koronare Ausdehnung des Kondylus. Dabei sind die Bilder 1 und 2 Parallelen der Frankfurter Horizontalen. Bild 1 zeigt den rechten Kondylus (vergl. Abb. 11b und Abb. 13) und Bild 2 zeigt in gleicher Form den linken Kondylus.

Bei Bild 3 und 5 handelt es sich um schräg koronare Schnittbilder des Kondylus, die den Kondylus in der maximalen schräg koronaren Ausdehnung zeigen. Die Bilder sind senkrecht zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet. Bild 3 zeigt den rechten Kondylus (vergl. Abb. 12c und Abb. 14) und Bild 5 zeigt in gleicher Form den linken Kondylus.

Bei Bild 4 und 6 handelt es sich um schräg sagittale Schnittbilder des Kondylus, zentral auf der größten schräg koronaren Ausdehnung des Kondylus. Die Bilder sind senkrecht zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet. Bild 4 zeigt den rechten Kondylus (vergl. Abb. 12a und Abb. 15) und Bild 6 zeigt in gleicher Form den linken Kondylus.



Abb. 11 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, Transversale Ebene (b bzw. lilafarbene Achsen) parallel zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet, maximale Ausdehnung des rechten Kondylus (roter Pfeil) im transversalen Arbeitsfeld (b), es stellt Bild 1 der sechs erstellten Bilder dar, a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld

Der rechte Kondylus wurde im transversalen Arbeitsfeld aufgesucht. Hierbei war darauf zu achten, dass der Kondylus in größter transversaler Ausdehnung erschien (Abb. 11 b). Um die Ausrichtung nach der Frankfurter Horizontalen beizubehalten, wurde sich ausschließlich durch Scrollen durch die Schichten im transversalen Arbeitsfeld bewegt.

Das Bild 1 war im transversalen Arbeitsfeld generiert (Abb. 11 b) und konnte im DICOM-Format unter dem Dateinamen "1" exportiert werden. Hierzu wurde auf dem lokalen Datenträger pro Proband ein Ordner generiert. Dieser trug den Namen der sechsstelligen Probandenidentifikationsnummer (z.B. "123456"). In diesen Ordner wurden auch alle anderen Bilder dieses Probanden exportiert.

Zur Generierung von Bild 2 wurde mit dem linken Kondylus identisch verfahren. Es wurde mit dem Dateinamen "2" exportiert. Die Generierung von Bild 3 und Bild 4 erfolgt nach der Positionierung des Achsenkreuzes im transversalen Arbeitsfeld im Zentrum des rechten Kondylus (Abb. 12b). Durch Rotation der blaufarbenen Achse durch den größten schräg koronaren Durchmesser des Kondylus entsteht im rechten Arbeitsfeld ein Schnittbild in schräg koronarer Ausrichtung, das den Kondylus in maximaler Breite zeigt (Abb. 12 c) und im oberen linken Arbeitsfeld ein Anschnitt in schräg sagittaler Ausrichtung (Abb. 12 a). Dieses Schnittbild verläuft zentral durch den Kondylus, senkrecht zu seiner größten Breite. Im schräg sagittalen Arbeitsfeld wurde eine Hilfslinie (H1) generiert. Diese tangiert den oberen Rand des Kondylus und ist parallel zur Frankfurter Horizontalen (Abb. 12 a). Sie ermöglicht den Bezug der Messungen unter Punkt 3.5.2.2 auf die Frankfurter Horizontale.

Das Bild 3 (Abb. 12 c) und das Bild 4 (Abb. 12 a) wurden in dasselbe Verzeichnis wie Bild 1 und Bild 2 unter dem Dateinamen "3" bzw. "4" exportiert.

Bild 5 und Bild 6 sind die Äquivalente des kontralateralen Kondylus zu Bild 3 und Bild 4. Bild 5 zeigte somit den linken Kondylus im schräg koronaren Schnitt durch seinen größten schräg koronaren Durchmesser senkrecht zur Frankfurter Horizontalen. Bild 6 zeigte den linken Kondylus im schräg sagittalen Schnitt, senkrecht auf der Mitte seines größten schräg koronaren Durchmessers und senkrecht zur Frankfurter Horizontalen. Auch hier wurde eine Hilfslinie für den Bezug zur Frankfurter Horizontalen konstruiert, bevor Bild 5 und Bild 6 unter dem Dateinamen "5" und "6" in das angelegte Verzeichnis exportiert wurden.

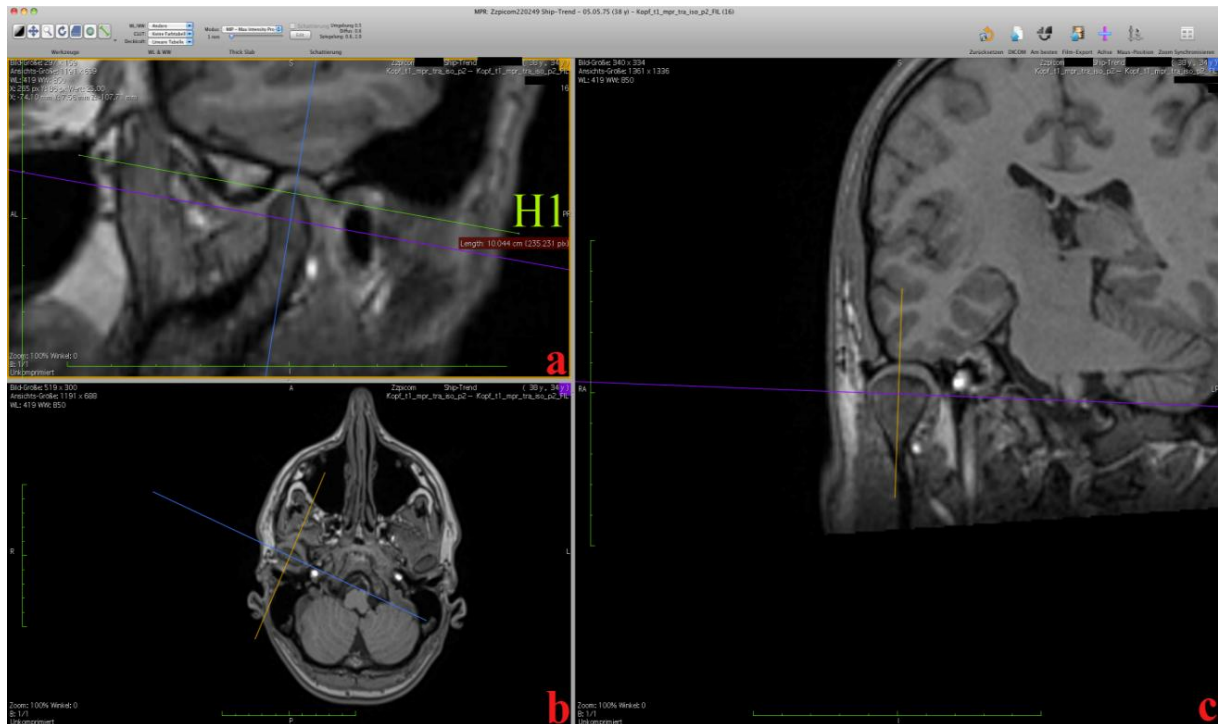


Abb. 12 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden. Das Achsenkreuz ist im rechten Kondylus zentriert. Die grüne Hilfslinie H1 in Bildteil a ist parallel zur Frankfurter Horizontalen, a: schräg sagittales Arbeitsfeld (Bild 4), b: transversales Arbeitsfeld, c: schräg koronares Arbeitsfeld (Bild 3)

### 3.4 Messungen am Kiefergelenk

Im Einzelnen wurden folgende Variablen erhoben:

- (1) Interkondylarwinkel
- (2) Länge des Kondylus
- (3) Breite des Kondylus
- (4) Dicke des Weichgewebes zwischen Caput mandibulae und Fossa mandibularis
- (5) Typisierung der Form des Kondylus

Jede gemessene Variable erhielt eine Abkürzung für die Abbildungen in der Auswertung dieser Untersuchung und einen entsprechenden Variablencode in der Datenbank (Tab. 4).

Tab. 4 Übersicht über verwendete Abkürzungen in Bildbeschriftungen

Abkürzung	Variablencode in der Datenbank	Definition
IKW re	mrt_tjdata_rai	Rechter Anteil des Interkondylarwinkels
IKW li	mrt_tjdata_lai	Linker Anteil des Interkondylarwinkels
KL re	mrt_tjdata_rlap	Länge des rechten Kondylus in schrägsagittaler Richtung
KL li	mrt_tjdata_llap	Länge des linken Kondylus in schrägsagittaler Richtung
KB re	mrt_tjdata_rhw	Breite des rechten Kondylus in schrägkoronarer Richtung
KB li	mrt_tjdata_lhw	Breite des linken Kondylus in schrägkoronarer Richtung
HW re	mrt_tjdata_rbml	Größte Weichgewebsdicke kranial des rechten Kondylus
HW li	mrt_tjdata_lbml	Größte Weichgewebsdicke kranial des linken Kondylus
HW 45 ant re	mrt_tjdata_rda	Weichgewebsdicke 45° anterior des rechten Kondylus
HW 45 post re	mrt_tjdata_drp	Weichgewebsdicke 45° posterior des rechten Kondylus
HW 45 ant li	mrt_tjdata_lda	Weichgewebsdicke 45° anterior des linken Kondylus
HW 45 post li	mrt_tjdata_ldp	Weichgewebsdicke 45° posterior des linken Kondylus
HWD		Differenz der Weichgewebsdicken anterior (HW 45 ant) und posterior (HW 45 post) des Kondylus
H1		Hilfslinie parallel zur Frankfurter Horizontalen Ebene, durch den Scheitelpunkt des Kondylus verlaufend
H2		Hilfslinie, die den Interkondylarwinkel in zwei Anteile trennt
S		Scheitelpunkt des Kondylus
T		Tangente an der Facies articularis des Kondylus unter der größten Weichgewebsdicke



### 3.5 Vermessung der Kiefergelenke

Einleitend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine von zwei Arbeiten mit gleicher Methodik, aber unterschiedlichen untersuchten Variablen und Messwerten handelt. Im Folgenden ist die gesamte Vermessung beschrieben, die als Arbeitsgrundlage für die Auswertungen dieser Dissertation mit der oben genannten Thematik und einer zweiten Arbeit von Herrn Robert Mühlig diene.

Es wurden für beide Arbeiten alle genannten Variablen, wie unter Punkt 3.5.1 ff. beschrieben, vermessen und anschließend zur sinnvolleren Gestaltung von Thematik und Umfang aufgeteilt.

Herr Robert Mühlig befasst sich in seiner Arbeit mit der Auswertung der Messungen der Interkondylarwinkel und der Breiten und Längen der knöchernen Kondylen.

#### 3.5.1 Vermessung des Interkondylarwinkels und der Länge des Kondylus in Bild 1 und 2

Die Bilder 1 und 2 (s. Kapitel 3.3.2.2) sind Grundlage zur Vermessung des Interkondylarwinkels. Da der Interkondylarwinkel durch die größte Ausdehnung der Kondylen verläuft, diese aber auf zwei getrennten Bildern dargestellt sind, musste der Winkel in zwei Schritten gemessen werden. Es wurde hierzu eine reproduzierbare Hilfslinie (H2) konstruiert. Dazu wurde zunächst eine Senkrechte durch die Punkte A und P, welche Skalierungshilfen des Programms Osirix darstellen, gelegt (Abb. 13, Hilfslinie H2). Die so konstruierte Hilfslinie wurde kopiert und anschließend in Bild 2 eingefügt. Beide Linien waren exakt gleich positioniert und lediglich in axialer Richtung parallel zur Frankfurter Horizontalen verschoben. H2 teilt den Interkondylarwinkel in 2 Winkelanteile. Je nach Rotation des Kopfes des Probanden wird der Interkondylarwinkel in unterschiedliche Anteile getrennt. Dieses Vorgehen ermöglichte die Messung des Interkondylarwinkels auf 2 verschiedenen Transversalschnitten, die beide parallel zur Frankfurter Horizontalen sind. Mit Hilfe des Winkeltools von Osirix wurde durch den größten Durchmesser des Kondylus und die Hilfslinie H2 ein Anteil des Interkondylarwinkels bestimmt (Abb. 13). Die Messung erfolgte sowohl links als auch rechts, um den Interkondylarwinkel als Summe der beiden Winkel zu berechnen. Außerdem wurde auf Bild 1 und 2 die größte Ausdehnung des Kondylus in schräg sagittaler Richtung senkrecht zur größten schräg koronaren Ausdehnung des Kondylus vermessen.





Abb. 13 Bild 1 der erstellten DICOM Serie aus Osirix, transversaler Schnitt, Messung des rechten Kondylus in schräg sagittaler Ausdehnung (KL re) und des rechten Anteils des Interkondylarwinkels (IKW re), Hilfslinie H2 teilt den Interkondylarwinkel, vergrößert am rechten Bildrand, die Punkte A und P als Begrenzungen von H2, männlicher, 38-jähriger Proband

### 3.5.2 Vermessungen der Weichgewebssdicken kranial des Kondylus und seiner Breite

Die Bilder 3 und 5 (s. Kapitel 3.3.2.2) dienen der Vermessung der größten Weichgewebssdicke (HW) kranial des Kondylus in schräg koronaren MRT-Schichtaufnahmen durch das Kiefergelenk. Hierbei handelt es sich um die erste von drei Ausdehnungen, in denen das Weichgewebe vermessen wurde. Zusätzlich dienten die Bilder der Vermessung der Breite des Kondylus und der Erfassung der Kondylusform. Zunächst wurde mithilfe des Plug-Ins in Osirix ein Rechteck an den Kondylus angelegt, das den Kondylus am medialen und lateralen Pol tangiert und so seine Breite erfasst.

### 3.5.2.1 Weichgewebsdicke kranial des Kondylus

Das Weichgewebe kranial des Kondylus wurde an seiner größten Ausdehnung senkrecht zur Facies articularis des Kondylus gemessen. Diese Messung fand zwingend oberhalb der größten Breite des Kondylus statt (Abb. 14).

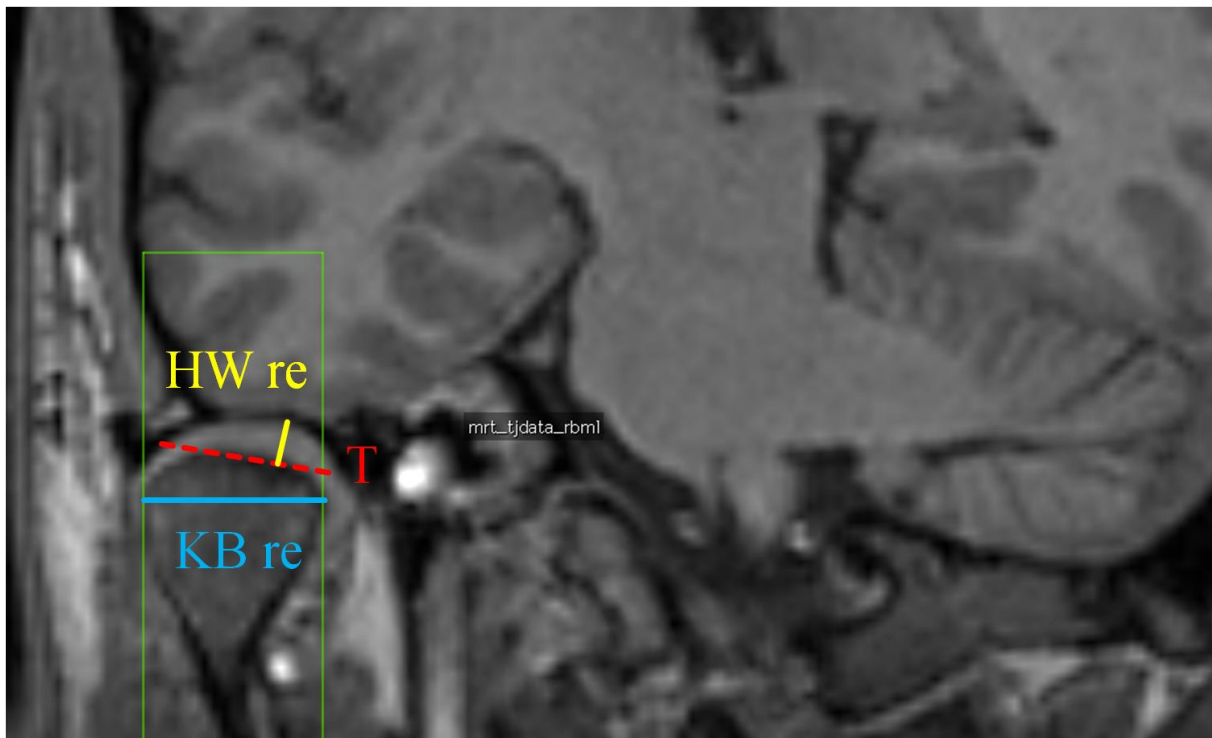


Abb. 14 Bild 3 der erstellten DICOM-Serie aus Osirix, schräg koronarer Schnitt, Messung der Ausdehnung des Kondylus in schräg koronarer Richtung. Das Rechteck tangiert den medialen und lateralen Pol des Kondylus und gibt so seine Breite wieder (blaue Linie - KB re). Messung des umgebenden Weichgewebes kranial in größter Ausdehnung senkrecht zur Gelenkfläche des Kondylus (gelbe Linie - HW re), Tangente (rot gestrichelte Linie - T) an der Gelenkfläche an der Stelle unter der größten Weichgewebsdicke (HW), männlicher 38-jähriger Proband.

### 3.5.2.2 Weichgewebsdicke anterior und posterior des Kondylus

Die beim Exportieren des Bildes 4 und 6 konstruierte Hilfslinie H1 (Abb. 12 a) tangiert den Kondylus am Scheitelpunkt. An diesen schräg sagittalen MRT-Schichtaufnahmen erfolgte die Vermessung der Weichgewebsdicke anterior (HW 45 ant) und posterior (HW 45 post) des Kondylus. Dazu wurde ausgehend vom kranialen Scheitelpunkt des Kondylus mit dem Winkeltool von Osirix ein Winkel von 45° anterior zur Hilfslinie H1 angelegt. Auf diesem

erfolgte anschließend die erste Messung. Für die posteriore Messung wurde das Winkeltool auf einen Winkel von 135° eingestellt (Abb. 15).

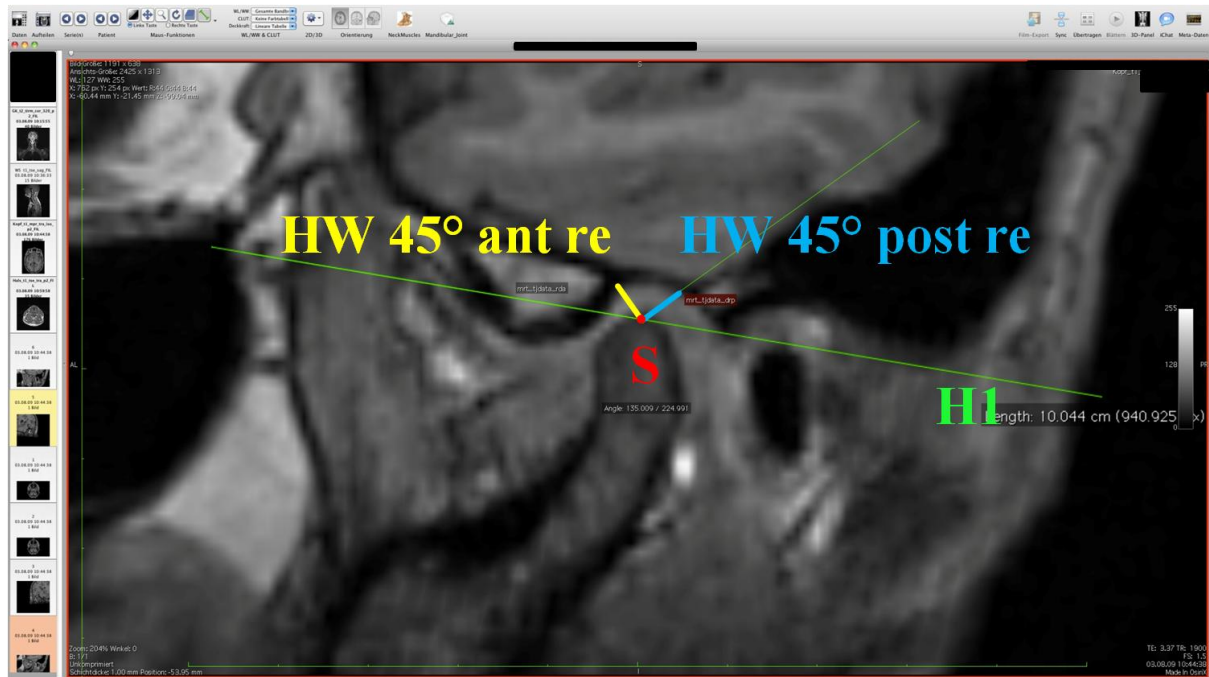
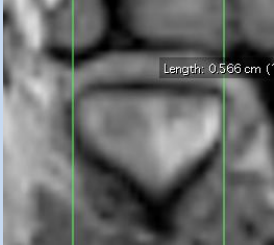
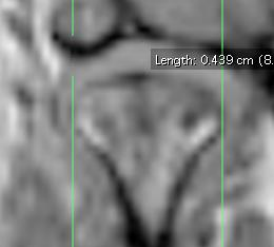
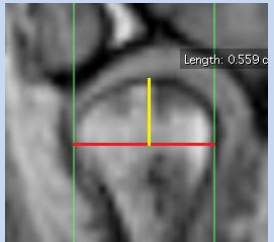

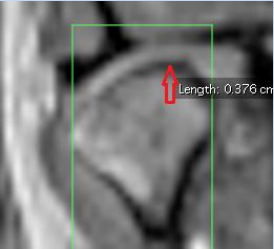


Abb. 15 Bild 4 der erstellten DICOM Serie aus Osirix, schräg sagittaler Schnitt. Darstellung der Weichgewebsdicke kranial des Scheitelpunktes S des rechten Caput mandibulae. Die Horizontale H1 schneidet den Punkt S parallel zur Frankfurter Horizontalen. Die Messungen erfolgen anterior (gelb) und posterior (blau) von S, jeweils im Winkel von 45° zu H1. Gelbe Linie - Weichgewebsdicke anterior des Caput mandibulae (HW 45 ant), blaue Linie - Weichgewebsdicke posterior des Caput mandibulae (HW 45 post)

### 3.5.3 Typisierung der Form des Caput mandibulae

Die Bilder 3 und 5 (s. Kapitel 3.3.2.2 und 3.5.2) wurden auch genutzt, um die Form des Kondylus zu kategorisieren. Dabei wurden fünf Formen Typ A bis E unterschieden (Tab. 5).

Tab. 5 Formen des Caput mandibulae

Form	Form der Gelenkfläche	Beispiel	Definition
Typ A	Flach		Die artikulierende Fläche ist über mindestens 2/3 ihrer Ausdehnung gerade.
Typ B	Elliptisch		Die artikulierende Fläche ist in ihrem schräg koronaren Verlauf homogen ansteigend und abfallend, erfüllt aber nicht die Kriterien von Typ C
Typ C	Rund		Die artikulierende Fläche erfüllt die Bedingungen von Typ B. Zusätzlich ist die Höhe (gelb) gemessen als Senkrechte, auf dem Durchmesser (rot) des Kondylus mindestens halb so lang wie der Durchmesser selbst.
Typ D	Scheitelpunkt auf dem lateralen Anteil der Gelenkfläche		Die artikulierende Fläche besitzt eine Erhebung (roter Pfeil) auf der Gelenkfläche, die sich im lateralen Anteil der Gelenkfläche befindet.
Typ E	Scheitelpunkt auf dem medialen Anteil der Gelenkfläche		Die artikulierende Fläche besitzt eine Erhebung (roter Pfeil) auf der Gelenkfläche, die sich im medialen Anteil der Gelenkfläche befindet.

Während der Vermessung wurden auch Anomalien und Auffälligkeiten miterfasst. Hierzu gehören Kondylus bifidus, tumoröse Veränderung, Frakturen, Zysten und Aplasien des Kondylus.

Nach diesem Protokoll wurden von jedem der 707 Probanden die 6 Bilder der Kondylen angefertigt und vermessen.

### 3.6 Qualitätssicherung

Die Untersuchungen wurden von den zwei geschulten Observern Robert Mühlig und Franz Krüger auf der Grundlage eines SOPs vorgenommen, wobei jeder Proband unabhängig voneinander von beiden Observern untersucht wurde. Im Zeitraum vom 01.12.2013 bis zum 30.01.2014 wurden 707 Probanden untersucht. Die Variable der *Form des Kondylus* stimmte rechts zu 93,2 % (Kappa = 0,85) und links zu 92,1 % (Kappa = 0,82) zwischen den Observern überein. In den restlichen Fällen kam ein dritter Observer (Prof. Dr. Th. Koppe, Institut für Anatomie und Zellbiologie, Universitätsmedizin Greifswald) zum Einsatz und legte unabhängig die Form des Kondylus fest. Der Messunterschied der zwei Observer in den Kategorien der stetigen Variablen liegt im Mittel zwischen 0,19 % und 1,11 % (Tab. 39, im Anhang). Für die Auswertung wurden die erhobenen Daten der beiden Observer gemittelt. Im Rahmen der Qualitätssicherungen wurden die Observerunterschiede nach 100, 500 und 700 Probanden von Herrn Martin Albers (Institut für Community Medicine, Universitätsmedizin Greifswald) deskriptiv anhand der Mittelwerte für beide Observer mithilfe von Bland-Altman Plots und Intra-Klassen-Korrelation (ICC) zur Quantifizierung der Übereinstimmung untersucht. Es konnten keine systematischen Observerunterschiede festgestellt werden. Die statistische Überprüfung ergab keine Hinweise, die an der Validität der erhobenen Daten zweifeln lassen.

Tab. 6 Mittelwerte der Messergebnisse im Verlauf der Untersuchung, nach 100, 500 und 700 Probanden zur Prüfung auf Lerneffekte

Messwerte	N=100	N=500	N=700
IKW re (in °)	64.10	64.33	64.51
KL re (in mm)	5.99	5.89	5.92
IKW li (in °)	64.28	64.71	64.34
KL li (in mm)	5.84	6.00	6.00
KB re (in mm)	18.80	18.48	18.50
HW re (in mm)	4.93	4.69	4.73
HW 45 ant re (in mm)	4.48	4.22	4.30
HW 45 post re (in mm)	4.35	4.23	4.20
KB li (in mm)	18.91	18.46	18.49
HW li (in mm)	4.77	4.62	4.67
HW 45 ant li (in mm)	4.69	4.39	4.43
HW 45 post li (in mm)	4.25	4.19	4.19
IKW gesamt (in °)	128.38	129.40	129.06

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Form des Kondylus

Die statistische Auswertung der Messdaten ergab in der gesamten Kohorte, ohne Berücksichtigung von Alter und Geschlecht, die folgende Verteilung der Kondylusformen. Die Kondylen wiesen in 998 von 1384 Fällen (72,11 %) den Formtyp B auf. In absteigender Häufigkeit waren 122 (8,82 %) Kondylen vom Typ A, 119 (8,60 %) Kondylen vom Typ C, 83 (6,00 %) Kondylen vom Typ D und 62 (4,48 %) Kondylen vom Typ E (Abb. 16, Tab. 8 bis Tab. 10).

Von den weiblichen Probanden hatten 488 von 704 Kondylen (69,32 %) eine Form vom Typ B. Im Gegensatz dazu wiesen die männlichen Probanden in 510 von 680 Fällen (75 %) einen Typ B Kondylus auf. Der Typ C kam bei weiblichen Probanden mit 78 (11,08 %) fast doppelt so häufig vor wie bei männlichen Probanden mit 41 (6,03 %) (Abb. 16). Die Auswertung des Zusammenhangs zwischen der Form des Kondylus und dem Geschlecht wurde mithilfe einer logistischen Regression analysiert und ergab, dass das Vorkommen von Typ C-Kondylen bei weiblichen Probanden auf der linken Seite signifikant häufiger ( $p=0,003$ ) als bei männlichen Probanden war. Obgleich auch auf der rechten Seite bei weiblichen Probanden der Typ C häufiger auftrat als bei Männern, konnten hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $p=0,072$ ). Probanden mit runden Typ C-Kondylen auf der linken Seite sind 2,59-mal wahrscheinlicher weiblich als Probanden mit elliptischen Typ B-Kondylen (Tab. 15, im Anhang).

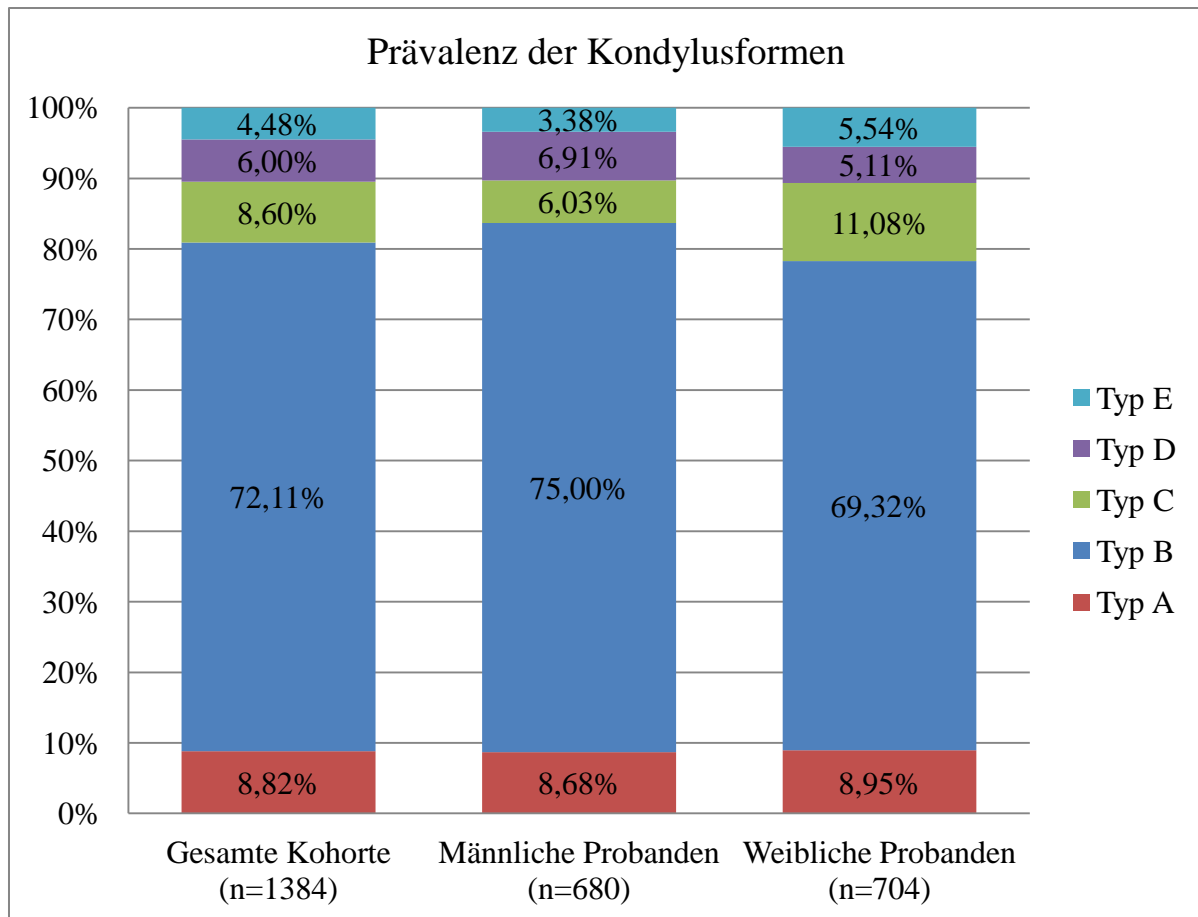


Abb. 16 Prozentuale Verteilung der verschiedenen Formen der Kondylen mit und ohne Berücksichtigung des Geschlechts, n: Anzahl der Kondylen

Typ A-Kondylen traten mit einer Häufigkeit von 5 von 44 (11,36 %) am seltensten in der Altersgruppe 1 und mit einer Häufigkeit von 11 von 153 (7,19 %) am häufigsten in der Altersgruppe 5 bei weiblichen Probanden auf. Das Minimum der männlichen Probanden lag in der Altersgruppe 2 mit 4 von 84 (4,76 %), das Maximum bei 16 von 98 (16,33 %) in der Altersgruppe 6. Es fiel die Diskrepanz zwischen männlichen und weiblichen Probanden besonders in der jüngsten und der ältesten Gruppe auf. In der Altersgruppe 1 besaßen nur 5,17 % der Kondylen bei männlichen Probanden die Form Typ A. Bei weiblichen Probanden derselben Altersgruppe war das Vorkommen mit 11,36 % mehr als doppelt so hoch. Umgekehrt war es bei den über 69-jährigen Probanden (AG 6). Hier besaßen 16,33 % der Kondylen männlicher Probanden den Kondylus Typ A. Bei weiblichen Probanden lag der Wert mit 9,68 % deutlich niedriger (Abb. 17).



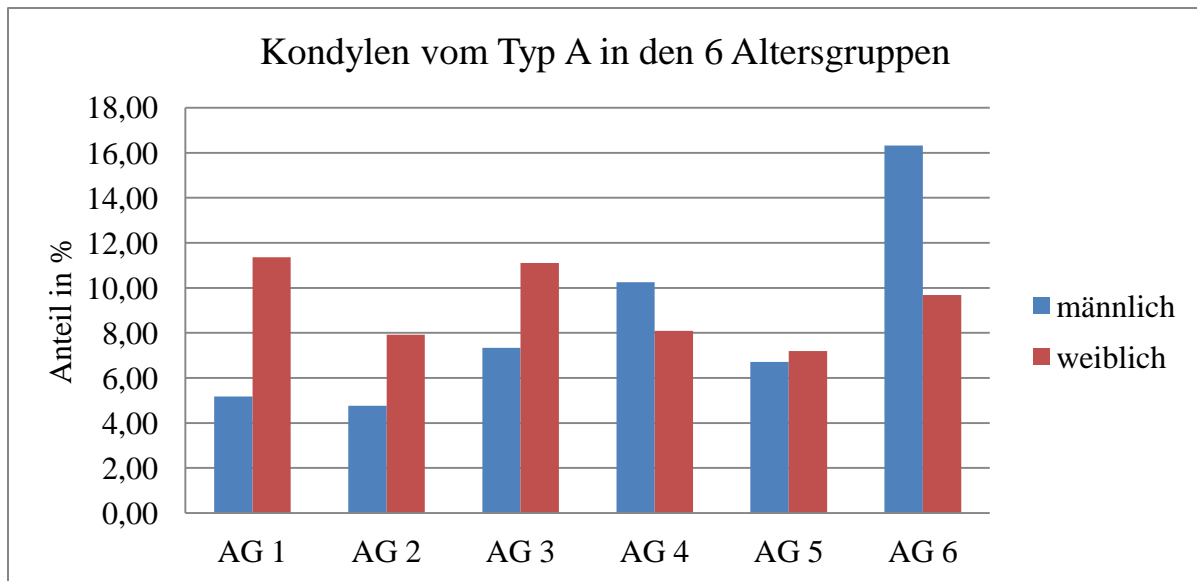


Abb. 17 Flache Kondylenform, Typ A, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt

Bei Typ B-Kondylen war sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Probanden eine Zunahme der Prävalenz über das Alter zu beobachten (Abb. 18). Das Maximum lag in der Altersgruppe 5. In dieser Altersgruppe hatten 111 von 134 Kondylen (82,84 %) männlicher Probanden beziehungsweise 113 von 153 Kondylen (73,86 %) weiblicher Probanden den Formtyp B. Auffällig war jedoch, dass es in der Altersgruppe 6, also bei Probanden über 69 Jahren, wieder zu einer Abnahme des Anteils von Probanden mit Typ B kam. Das traf sowohl für männliche als auch für weibliche Probanden zu (Abb. 18).

Die Häufigkeit der Kondylen vom Typ C hatten ihr Maximum mit 15,52 % bei Männern der Altersgruppe 1 und ihr Minimum mit 1,92 % bei Männern der Altersgruppe 4. Bei den älteren Männern stieg die Häufigkeit wieder leicht an. Unter den über 69-jährigen Probanden lag die Häufigkeit bei 4,08 %. Die Werte der weiblichen Probanden mit Typ C-Kondylen hatten ihr Minimum bei 8,19 % in der Altersgruppe 3. Das Maximum der weiblichen Probanden erreichte die Häufigkeit mit 14,52 % in der Altersgruppe 6. Es fiel eine insgesamt stärkere Schwankung der Anteile der männlichen Probanden auf. Die Häufigkeit von runden Typ C-Kondylen blieb bei weiblichen Probanden deutlich konstanter zwischen 8,19 % und 14,52 % (Abb. 19).

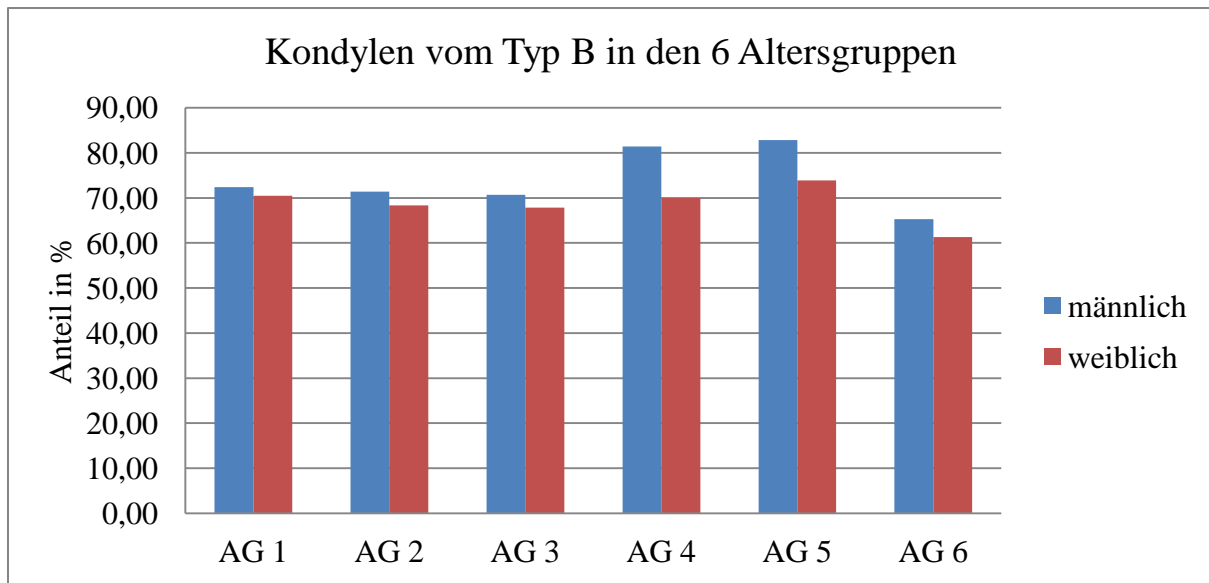


Abb. 18 Elliptische Kondylenform, Typ B, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt

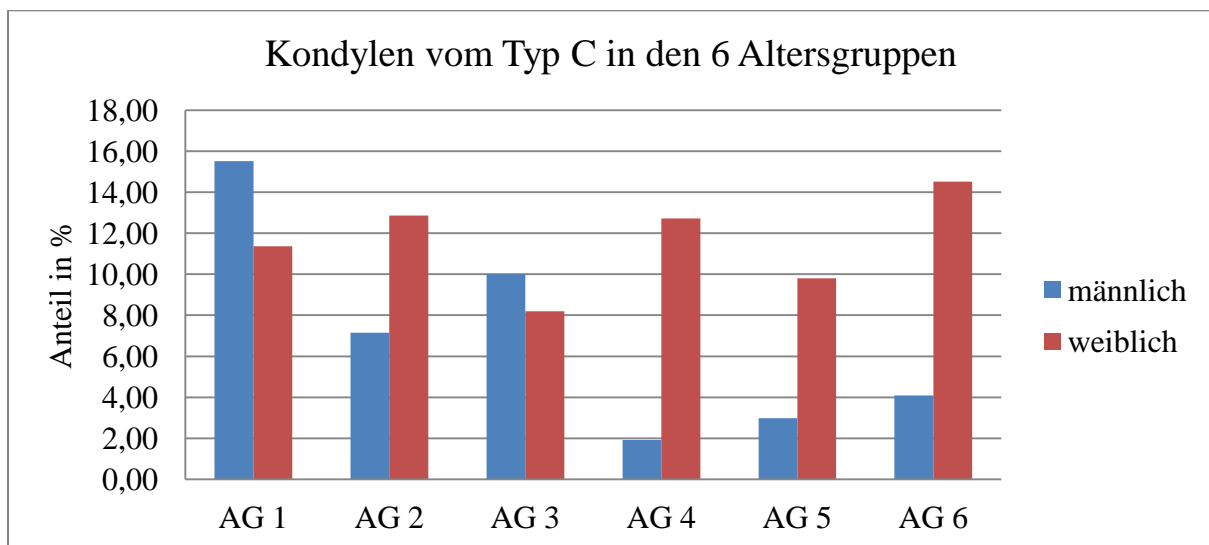


Abb. 19 Runde Kondylen, Typ C, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt

Bei den männlichen Probanden mit Kondylen vom Typ D lag das Maximum der Häufigkeit in der Altersgruppe 2 mit einem Anteil von 15,48 %. Das Minimum lag bei 2,56 % in der Altersgruppe 4. Das Maximum in der weiblichen Kohorte lag bei 6,93 % in der Altersgruppe 2. Das Minimum der weiblichen Kohorte lag bei 3,23 % in der Altersgruppe 6. Auch diese

Kondylusform kam bei den Frauen mit deutlich konstanterer Häufigkeit über das Lebensalter vor als bei Männern (Abb. 20). Die Untersuchung eines Zusammenhanges zwischen dem Alter des Probanden und seiner Kondylusform mithilfe der linearen Regressionsanalyse ergab, dass Probanden mit Typ D-Kondylen auf der rechten Seite im Mittel 4,8 Jahre jünger waren als Probanden mit Typ B-Kondylen ( $p=0,026$ ) (Tab. 21, im Anhang).

Bei den Probanden mit Kondylen vom Typ E lag das Maximum der männlichen Probanden bei 8,16 % in der Altersgruppe 6. Das Minimum lag bei 1,19 % in der Altersgruppe 2. Das Maximum der Häufigkeit in der weiblichen Kohorte war in der Altersgruppe 6 und lag bei 11,29 %. Am seltensten kamen Typ E-Kondylen bei weiblichen Probanden in der Altersgruppe 1 vor. Der Anteil von Kondylen vom Typ E lag bei 2,27 %. Geschlechtsunabhängig fiel der Anstieg der Häufigkeit in der ältesten Gruppe auf. (Abb. 21). Die lineare Regressionsanalyse des Alters der Probanden und der Form des Kondylus ergab, dass Probanden mit einem rechten Kondylus vom Typ E im Mittel 5,7 Jahre älter als Probanden mit einem elliptischen rechten Typ B-Kondylus ( $p=0,028$ ) waren (Tab. 21, im Anhang).

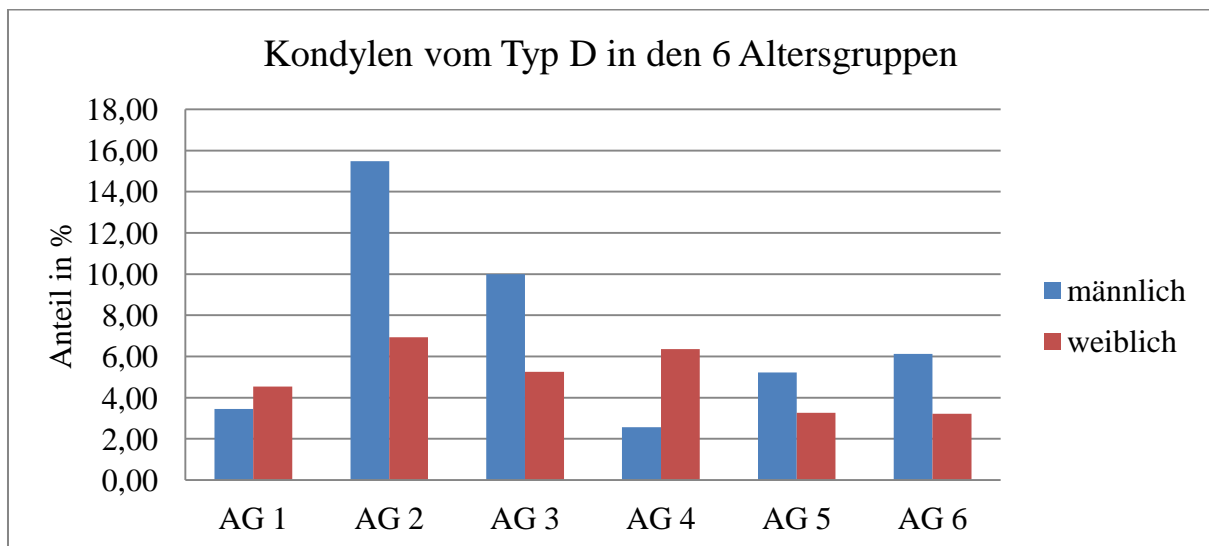


Abb. 20 Kondylen mit lateralem Scheitelpunkt, Typ D, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt

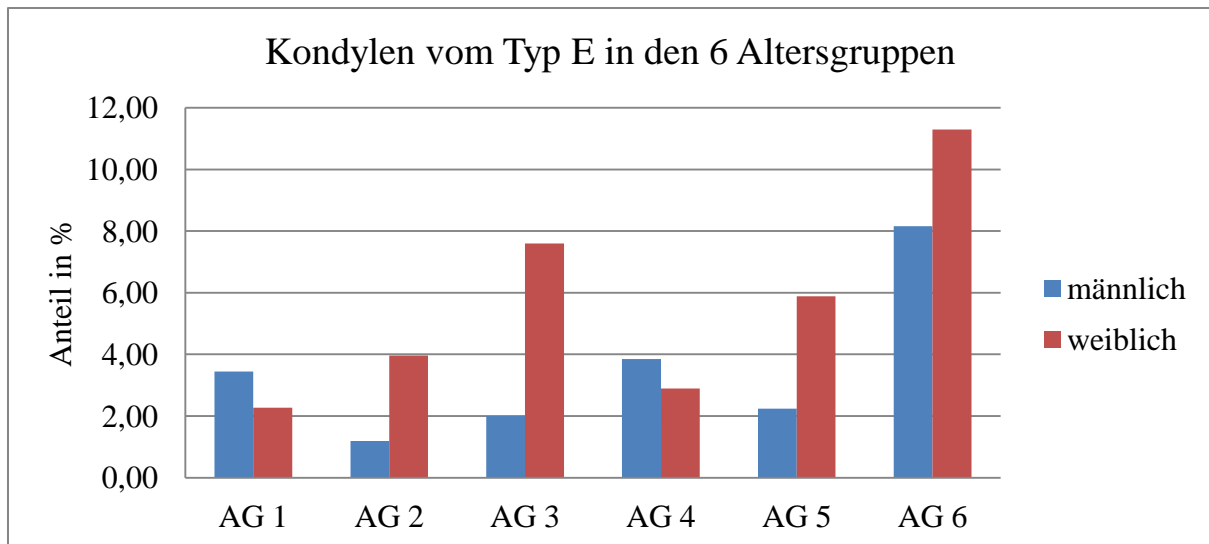


Abb. 21 Kondylen mit medialem Scheitelpunkt, Typ E, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt

Im Probandengut wiesen 202 der 690 Probanden rechts und links unterschiedliche Kondylusformen auf. Das sind 29,28 % der Kohorte. Die übrigen 488 Probanden haben rechts und links die gleiche Kondylusform. Diese Symmetrie besteht somit bei einer Mehrheit von 70,72 % der Probanden. Die Untersuchung mittels eines Chi- Quadrates ergab eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit rechts und links die gleiche Kondylusform zu haben ( $p < 0,001$ ) (Tab. 22, im Anhang).

## 4.2 Weichgewebstdicken kranial des Kondylus

### 4.2.1 Größte Weichgewebstdicke kranial des Kondylus in schräg koronaren MRT-Schichtaufnahmen durch das Kiefergelenk

Die Verteilung der Messwerte der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus wurden geschlechts- und seitengetrennt ausgewertet (Tab. 24 bis Tab. 27, im Anhang, Abb. 23 bis Abb. 26). Die kraniale Weichgewebstdicke (HW) betrug im Mittel 4,67 mm (SD=1,02) auf der rechten Seite und 4,69 mm (SD=1,00) auf der linken Seite.

Die Verteilung der Messdaten wies sowohl rechts als auch links eine supergaußförmige Verteilung mit Wölbungen von 3,25 bzw. 3,13 auf. Es treten also etwas extremere Werte als in der Normalverteilung auf. Es handelte sich um eine mit einer Schiefe von 0,20 bzw. 0,26 leicht rechtsschiefe Verteilung. Der Modalwert war in dieser Verteilung kleiner als der Median, der kleiner als der Mittelwert ist. Die männlichen Probanden hatten im Mittelwert auf

der rechten Seite ein dickeres Weichgewebe (HW) kranial des Kondylus als auf der linken Seite (vergl. Tab. 23, im Anhang, Abb. 22).

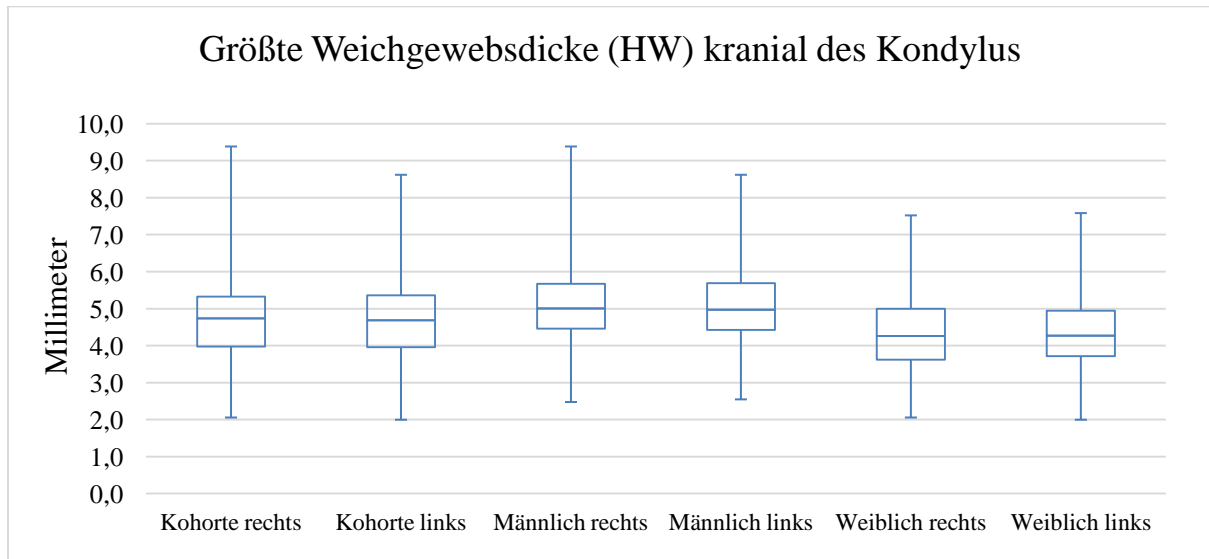


Abb. 22 Größte Dicke des Weichgewebes kranial des Kondylus, für die gesamte Kohorte sowie getrennt für männliche und weibliche Probanden im Seitenvergleich

Bezog man die Messwerte der größten kranialen Weichgewebsdicke (HW) auf das Alter der Probanden, fiel bei den männlichen Probanden eine nur geringe Schwankung der Medianwerte auf beiden Kiefergelenksseiten auf. Die flachsten Weichgewebsdicken (HW) lagen auf der linken Seite in der Altersgruppe 2 mit 4,61 mm und auf der rechten Seite mit 4,72 mm in der Altersgruppe 1. Den größten Median fand man links mit 5,16 mm in der Altersgruppe 4 und auf der rechten Seite mit 5,14 mm in derselben Altersgruppe (vergl. Tab. 24 und Tab. 25, im Anhang).

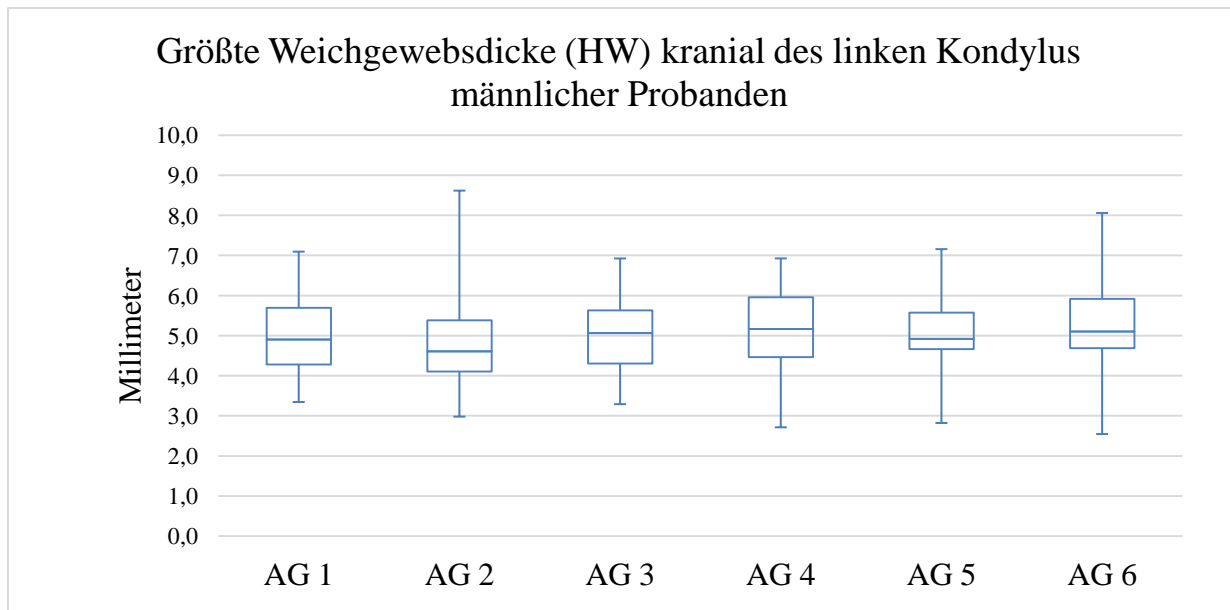


Abb. 23 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des linken Kondylus bei männlichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen.

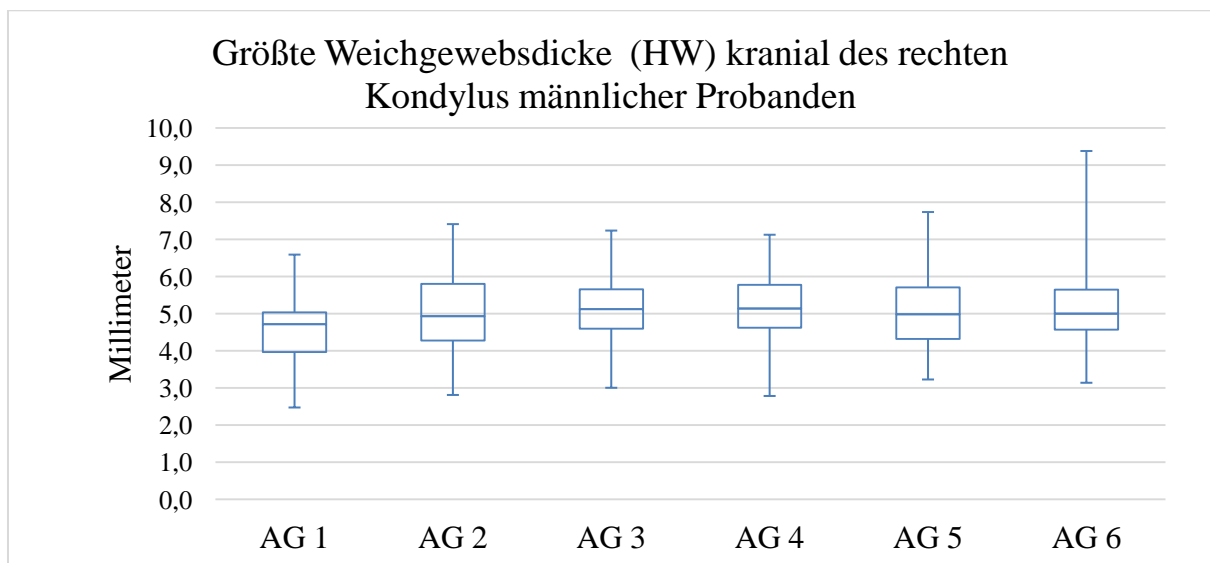


Abb. 24 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des rechten Kondylus bei männlichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen

Die Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus der weiblichen Probanden unterlagen im Verlauf durch die Altersgruppen nur geringen Schwankungen. Insgesamt waren die medianen Messwerte etwas niedriger als bei den männlichen Probanden. Die größten Mediane fand man in der Altersgruppe 6 links mit 4,44 mm und rechts in der Altersgruppe 5 mit 4,42 mm. Die kleinsten Mediane fanden wir in der Altersgruppe 1 links mit 4,12 mm und rechts in der

Altersgruppe 4 mit 4,04 mm. Die Maxima und Minima der Mediane lagen sehr eng beieinander (vergl. Tab. 26 und Tab. 27, im Anhang).

Die lineare Regressionsanalyse ergab einen Einfluss des Geschlechtes auf die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus. Männer hatten ein um 0,75 mm rechts und um 0,72 mm links signifikant dickeres Weichgewebe (HW) kranial des Kondylus als Frauen ( $p < 0,001$ ) (vergl. Tab. 28, im Anhang). Ein Zusammenhang der kranialen Weichgewebshöhe (HW) mit dem Alter der Probanden konnte mithilfe der linearen Regressionsanalyse für die linke Seite nachgewiesen werden ( $p = 0,008$ ). Für die rechte Seite ließ sich eine ähnliche Tendenz erkennen, signifikante Unterschiede lagen jedoch nicht vor ( $p = 0,072$ ) (vergl. Tab. 29, im Anhang). Pro Lebensjahr nimmt die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus auf der rechten Seite um 0,005 mm und auf der linken Seite um 0,007 mm zu.

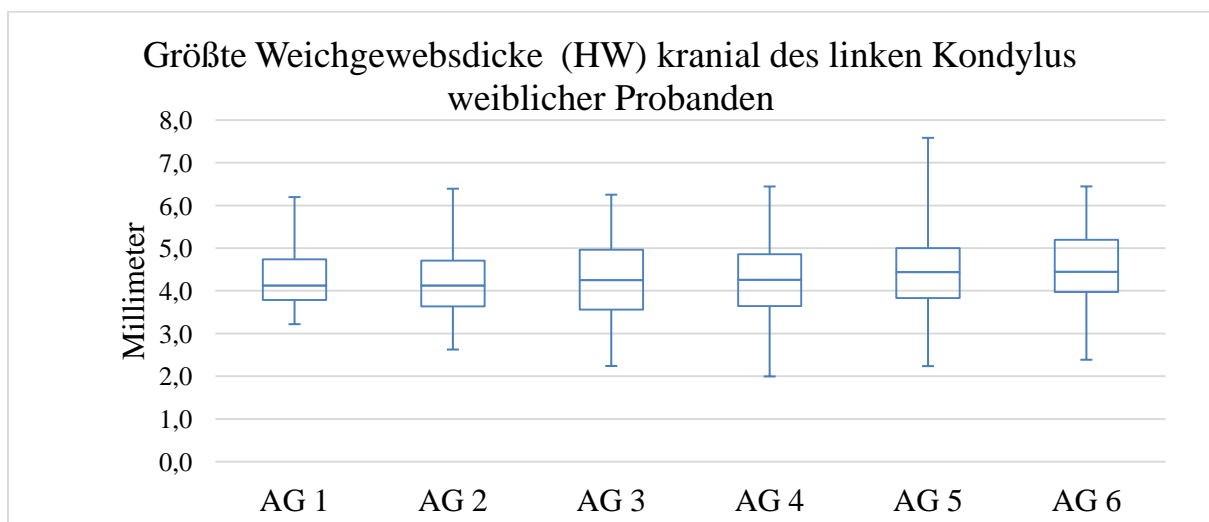


Abb. 25 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des linken Kondylus bei weiblichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen

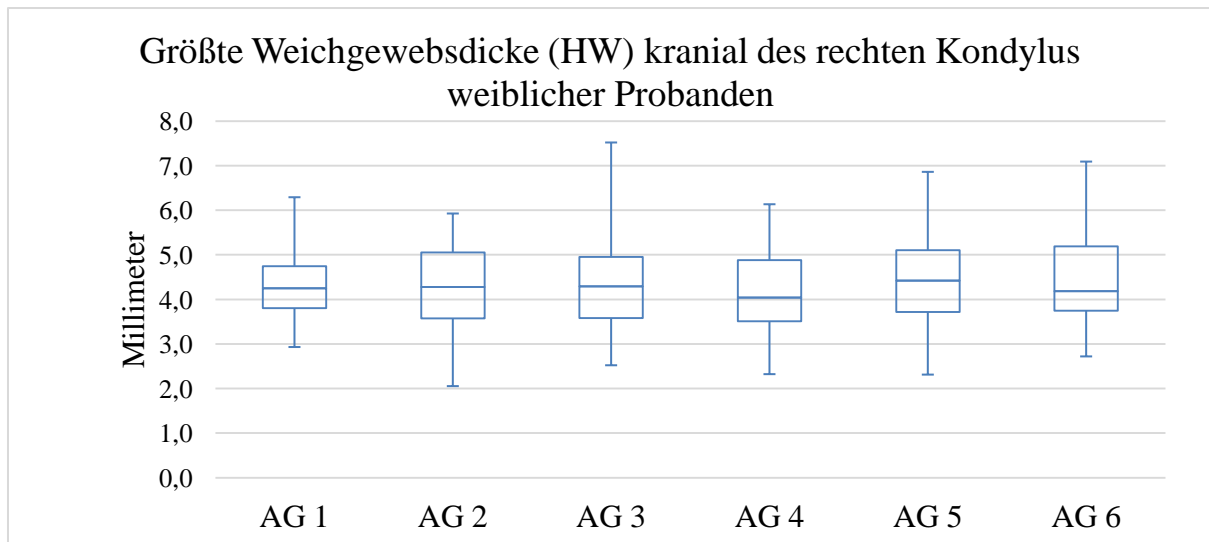


Abb. 26 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des rechten Kondylus bei weiblichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen

Die Differenz zwischen den mittleren größten Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus der rechten und der linken Seiten zeigte in allen Altersgruppen geringe Werte (Tab. 32, im Anhang). Die lineare Regressionsanalyse ergab keinen signifikanten Zusammenhang. Bei den männlichen Probanden der Altersgruppe 1 war die linke Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus im Mittel 0,34 mm ( $p \gg 0,05$ ) dicker als die kontralaterale Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus. Ohne Berücksichtigung von Alter und Geschlecht war die Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus auf der linken Seite um 0,02 mm ( $p \gg 0,05$ ) dicker als auf der rechten Seite.

#### 4.2.2 Weichgewebsdicken in schräg sagittalen MRT-Schichtaufnahmen durch das Kiefergelenk

Um zu bestimmen, ob die größere Dicke des Weichgewebes anterior (HW 45 ant) oder posterior (HW 45 post) des Kondylus liegt, wird die Differenz (HWD) der anterioren (HW 45 ant) und der posterioren (HW 45 post) Weichgewebsdicken gebildet.

$$\text{HWD} = \text{HW 45 ant} - \text{HW 45 post}$$

Nimmt die Weichgewebsdifferenz (HWD) den Wert 0 an, ist der Scheitelpunkt des Kondylus anterior und posterior von Weichgewebe der gleichen Dicke umgeben. Ergibt die Differenz einen positiven Wert, befindet sich mehr Weichgewebe anterior (HW 45 ant) des Kondylus.



Bei einem negativen Wert befindet sich mehr Weichgewebe posterior (HW 45 post) des Kondylus.

Die durchschnittliche Weichgewebsdifferenz (HWD) betrug unabhängig von Alter und Geschlecht der Probanden auf der rechten Seite 0,05 mm und auf der linken Seite 0,16 mm.

In der Gruppe der männlichen Probanden lag die durchschnittliche Weichgewebsdifferenz (HWD) auf der rechten Seite bei rund -0,22 mm und auf der linken Seite bei rund -0,05 mm. Im weiblichen Probandengut lag die durchschnittliche Weichgewebsdifferenz (HWD) bei rund +0,32 mm auf der rechten Seite und rund +0,37 mm auf der linken Seite. Die lineare Regressionsanalyse ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Differenz der Weichgewebsdicken (HWD). Männliche Probanden hatten auf der rechten Seite eine um 0,55 mm ( $p < 0,001$ ) signifikant geringere Weichgewebsdifferenz (HWD) als weibliche Probanden. Auf der linken Seite zeigte sich mit 0,41 mm ( $p < 0,001$ ) eine ebenfalls signifikant geringere Weichgewebsdifferenz (HWD) bei männlichen Probanden im Vergleich zu den weiblichen Probanden. Demzufolge war die posteriore Weichgewebsdicke (HW 45 post) bei Männern verhältnismäßig stärker als die anteriore Weichgewebsdicke (HW 45 ant) (vergl. Tab. 35 im Anhang).

Die lineare Regressionsanalyse des Alters mit der Weichgewebsdifferenz (HWD) ergab, dass sich mit steigendem Alter der Probanden die Weichgewebsdifferenz (HWD) geschlechtsunabhängig pro Jahr signifikant ( $p < 0,001$ ) um 0,018 mm auf der rechten Seite und um 0,011 mm auf der linken Seite ( $p = 0,001$ ) verringert (vergl. Tab. 36, im Anhang).

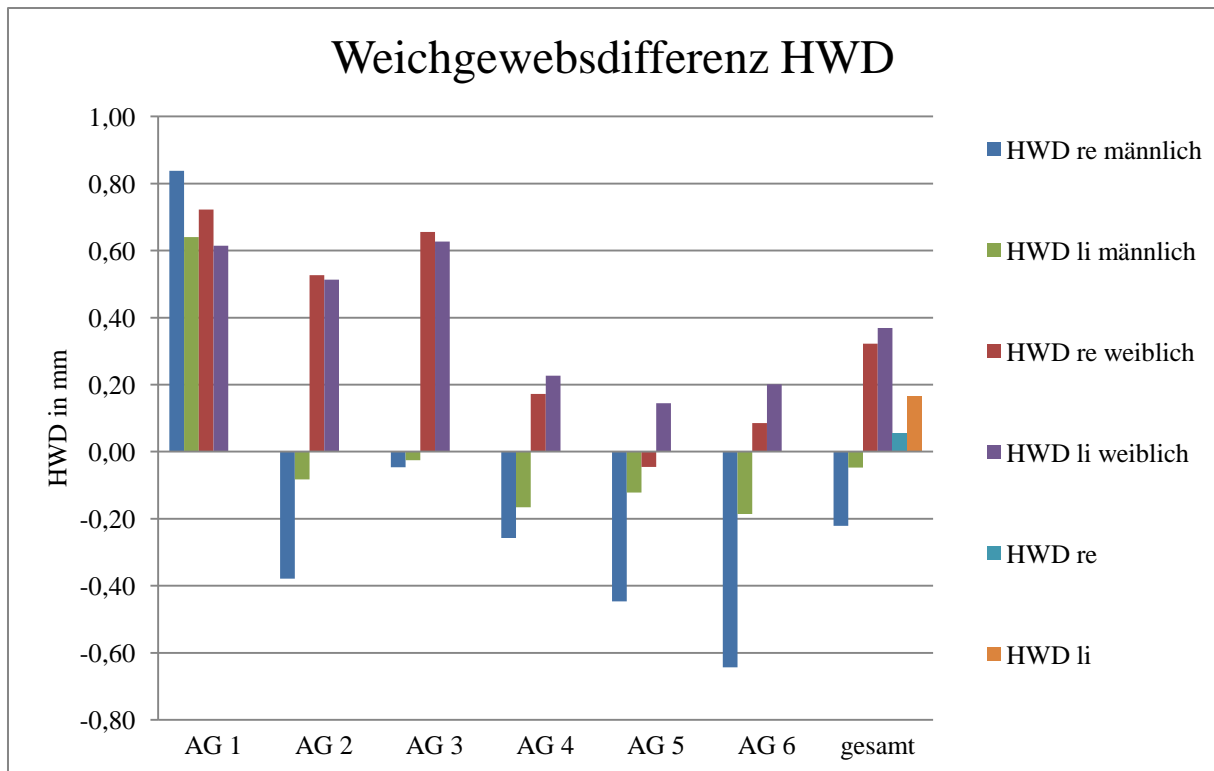


Abb. 27 Weichgewebsdifferenzen (HWD) in verschiedenen Altersgruppen für männliche und weibliche Probanden. Positive Werte stehen für mehr anteriores Weichgewebe, negative Werte für mehr posteriores Weichgewebe (Tab. 34, im Anhang). AG - Altersgruppe

#### 4.3 Einfluss der Kondylusform auf die größte Weichgewebsdicke (HW) in schräg koronaren MRT-Schichtaufnahmen

Bei der Betrachtung der größten Weichgewebsdicken (HW) in schräg koronaren MRT-Schichtaufnahmen, bezogen auf die Form des Kondylus der ipsilateralen Seite, ergaben sich abweichende Werte (Tab. 31, Tab. 32, im Anhang). Flache Typ A-Kondylen hatten im Mittel eine größte Weichgewebsdicke (HW) von 4,86 mm auf der rechten Seite und 5,14 mm auf der linken Seite. Elliptische Typ B-Kondylen wiesen bei diesem Messwert auf der rechten Seite eine Höhe von 4,73 mm und 4,70 mm auf der linken Seite auf. Bei runden Typ C-Kondylen ergab sich eine größte Weichgewebsdicke (HW) von 3,99 mm auf der rechten Seite und 4,14 mm auf der linken Seite. Typ D-Kondylen hatten im Durchschnitt eine größte Weichgewebsdicke (HW) von 4,87 mm auf der rechten Seite und 4,55 mm auf der linken Seite. Typ E-Kondylen hatten im Durchschnitt eine größte Weichgewebsdicke (HW) von 4,57 mm auf der rechten Seite und 4,56 mm auf der linken Seite.

Mithilfe eines linearen Regressionsmodells konnte nachgewiesen werden, dass die größte Weichgewebstdicke (HW) bei flachen Typ A-Kondylen auf der linken Seite 0,44 mm dicker ist, als bei elliptischen Typ B-Kondylen ( $p < 0,001$ ). Für die rechte Seite konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden ( $p \gg 0,05$ ). Runde Typ C-Kondylen weisen eine signifikant geringere größte Weichgewebstdicke (HW) auf als elliptische Typ B-Kondylen. Auf der rechten Seite ist der Unterschied 0,74 mm ( $p < 0,001$ ). Auf der linken Seite beträgt der Unterschied 0,56 mm ( $p < 0,001$ ). Bei den Kondylen vom Typ D und E konnten weder auf der linken noch auf der rechten Seite ähnliche Zusammenhänge nachgewiesen werden ( $p \gg 0,05$ ) (vergl. Tab. 33, im Anhang, Abb. 28, Abb. 29).

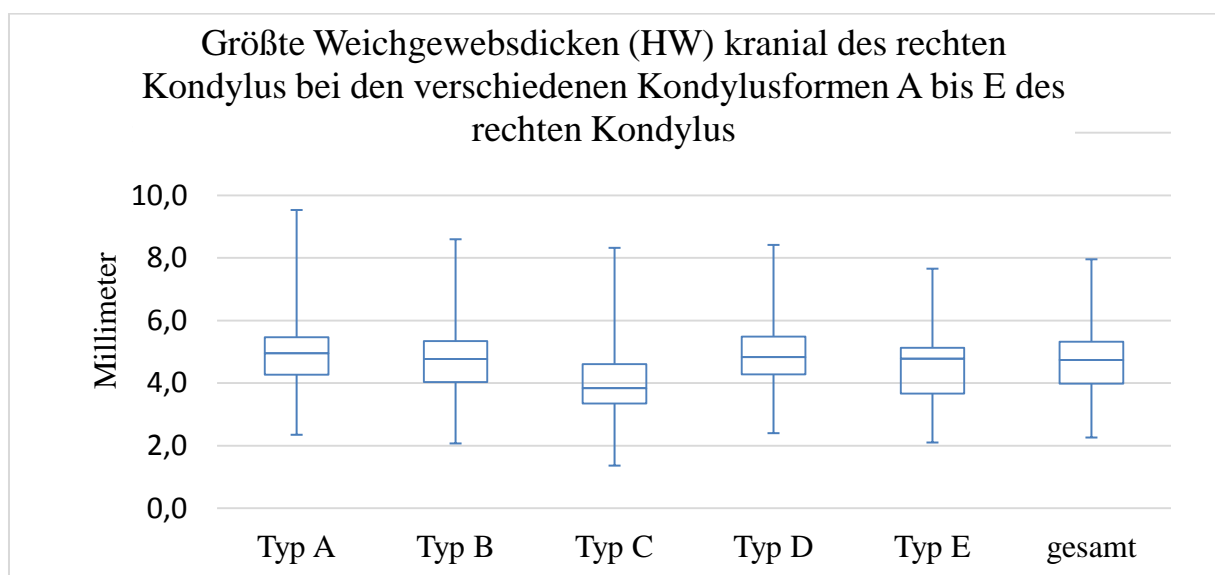


Abb. 28 Größte Weichgewebstdicken (HW) kranial des rechten Kondylus bei den verschiedenen Kondylusformen A bis E des rechten Kondylus, Angaben in mm

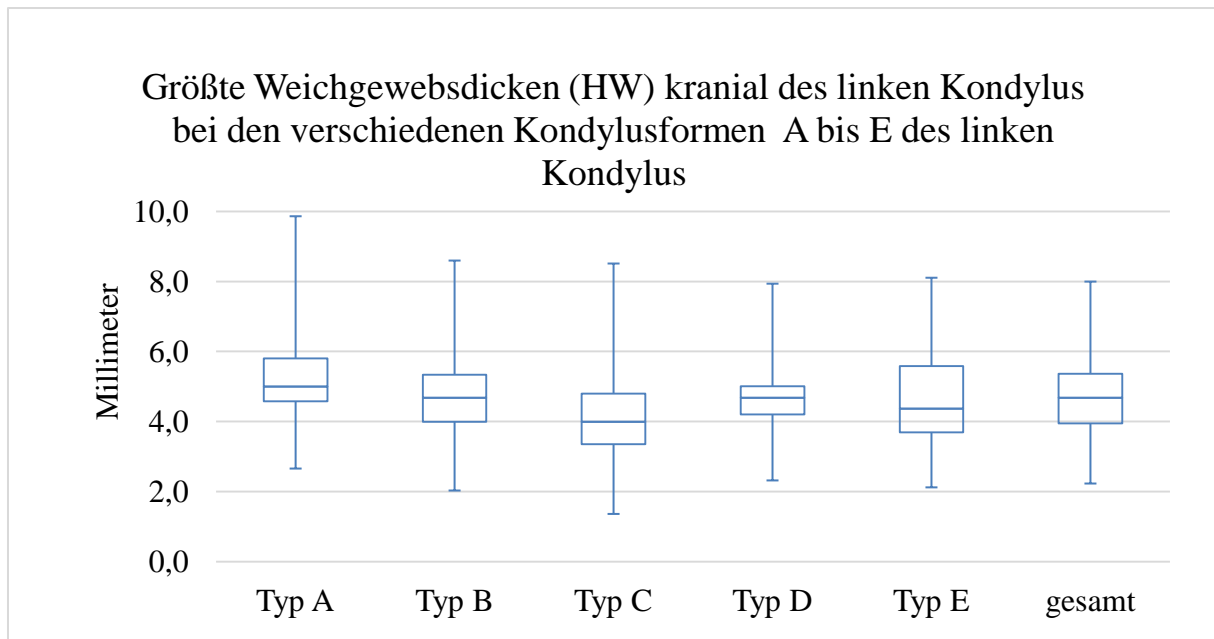


Abb. 29 Größte Weichgewebsdicken kranial des linken Kondylus bei den verschiedenen Kondylusformen A bis E des rechten Kondylus, Angaben in mm

#### 4.4 Bedeutung der Seitensymmetrie der Kondylusform auf die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus

Die überwiegende Mehrheit der Probanden hatte rechts und links symmetrisch geformte Kondylen (n=488). Der Durchschnitt der Differenz zwischen der größten Weichgewebsdicke (HW) kranial des rechten und des linken Kondylus lag bei diesen Probanden bei 0,63 mm. Eine maximale mittlere Differenz zwischen der größten Weichgewebsdicke (HW) der linken und der rechten Seite besteht bei den Probanden mit Kondylen vom Typ A (n=20). Sie lag im Durchschnitt bei 0,74 mm. Der geringste Unterschied der größten Weichgewebsdicken (HW) der rechten und der linken Seite lag bei den Probanden mit Kondylen vom Typ D (n=12). Die Mittlere Differenz betrug 0,49 mm.

In der Population mit asymmetrisch geformten Kondylen (n=202) lag die durchschnittliche Differenz der Weichgewebsdicken ebenfalls bei 0,63 mm. Die größte Differenz der Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus ist bei der Formenkombination rechts Typ D und links Typ C (n=3) beobachtet worden. Sie betrug im Mittel 1,53 mm. Die kleinste Abweichung in der Weichgewebsdicke (HW) bestand in der Formenkombination rechts Typ C und links Typ D (n=4) mit 0,1 mm (Tab. 38 und Tab. 37, im Anhang).

## 5 Diskussion

### 5.1 Form des Kondylus

Die vorliegende Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass am häufigsten Kondylen vom elliptischen Typ B vorkommen. Dann folgen absteigend nach ihrer Häufigkeit die Kondylen vom flachen Typ A, dem runden Typ C, Typ E und Typ D. Der Vergleich der Prävalenz mit vorangegangenen Untersuchungen zeigt, dass die elliptische Form in fast allen Untersuchungen ebenfalls als häufigste Kondylusform beschrieben wurde (Tab. 7). In unserer Studie ist die Prävalenz mit 72,1 % am höchsten. Die geringste Häufigkeit elliptischer Kondylen beobachteten Ueda et al. (2003) unter japanischen Probanden mit der Prävalenz von 33,3 %.

Flache Typ A-Kondylen haben in unserer Untersuchung eine Prävalenz von 8,8 %. Nur die Untersuchung von Ueda et al. (2003) an einer japanischen Population beschrieb mit 4,4 % seltener diese Form. Alle anderen Untersuchungen (Tab. 7) kategorisieren die Kondylen häufiger als flach. Am häufigsten kommt diese Form mit 27,2 % in der nordamerikanischen Population von Yale et al. (1963) vor.

Die Typen D und E, die in den Vergleichsuntersuchungen (Yale et al., 1963; Solberg et al., 1985; Anagnostopoulou and Venieratos, 1986; Christiansen et al., 1987; Ueda et al., 2003) als anguliert zusammengefasst sind, kamen im SHIP Probandengut mit einer Prävalenz von ca. 10,5 % vor. Yale et al. (1963) fanden bei Nordamerikanern eine vergleichbare Prävalenz von 13,4 %. In der US-amerikanischen Population von Solberg et al. (1985) entfällt auf diese Kategorie ein Anteil von 20 %. Christiansen et al. (1987) fanden bei 19 % ihrer US-amerikanischen Probanden angulierte Typ D- und E-Kondylen. Die Prävalenz dieser Kondylenform liegt im japanischen Patientengut von Ueda et al. (2003) bei 26,7 %. Die höchste Prävalenz der Vergleichsuntersuchungen lag mit 41 % im Probandengut von Anagnostopoulou and Venieratos (1986). Ihre Ergebnisse stammen aus griechischen und nordamerikanischen Populationen.

Runde Typ C-Kondylen traten in der vorliegenden Untersuchung mit einer Prävalenz von 8,6 % auf. Es ist damit die dritthäufigste Kondylusform unter den SHIP Probanden. Die vergleichbaren Untersuchungen (s. Tab. 7) beschrieben hier Prävalenzen zwischen 9 % und 14,7 %. Nur in der US-amerikanischen Population der Studie von Solberg (1985) war die Prävalenz dieser Kondylusform mit 50 % deutlich höher.

### *Definition der Kondylusformen*

Erklärungsansätze für die unterschiedlichen Prävalenz der Kondylusformen sind zunächst in der Definition der einzelnen Formen zu suchen. Yale et al. (1963) beschrieben und definierten sehr detailliert die 4 Kondylusformen in der schräg koronaren Ansicht. Hingegen beschrieben Solberg et al. (1985) ihre Formvarianten ohne nähere Definition als rundlich, flach oder gewinkelt. Es entsteht hierbei zum einen das Problem, dass Formen zusammengefasst wurden und somit die Vergleichbarkeit mit unserer und anderen Untersuchungen erschwert sind. Zum anderen lassen die unklaren Definitionen großen Raum für Interpretationen der Observer. Damit wird insbesondere die Diskriminierung von Grenzfällen erschwert. Christiansen et al. (1987) und Anagnostopoulou and Venieratos (1986) bezogen sich in ihren Untersuchungen auf die Formen und Definitionen von Yale et al. (1963). Ueda et al. (2003) zogen zusätzlich zu den Formen von Yale et al. (1963) die Form "konkav" hinzu. Diese Form tritt in ihrer Kohorte mit 20,9 % relativ häufig auf und erschwert damit die Vergleichbarkeit mit der vorliegenden Untersuchung.

Auch durch die Auswahl der untersuchten Probanden beziehungsweise Präparate ist ein Unterschied zu den Vergleichsstudien erklärbar. Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine randomisierte Untersuchung von Probanden, die in einem mehrstufigen Verfahren ausgewählt worden sind (John et al., 2001). Damit kann von einem Material ausgegangen werden, das annähernd den Bevölkerungsquerschnitt der Region Vorpommern-Greifswald abbildet. In den Vergleichsarbeiten wurde entweder auf Präparate anatomischer Sammlungen (Yale et al., 1963; Anagnostopoulou and Venieratos, 1986) oder auf Patientendaten (Solberg et al., 1985; Christiansen et al., 1987; Ueda et al., 2003) zurückgegriffen. Eine Verallgemeinerung dieser Ergebnisse auf die Bevölkerung scheint hier nur eingeschränkt möglich.

### *Ethnische Zusammensetzung der Population*

Die ethnische Zusammensetzung der untersuchten Population ist ein weiterer Unterschied zwischen der SHIP-Studie und den Vergleichsstudien. Die untersuchte Region liegt in Mecklenburg-Vorpommern. Diese Region von Deutschland ist ethnisch von Kaukasiern geprägt. Nur etwa 7,9 % der Population haben einen Migrationshintergrund im weiteren Sinne (Statistisches\_Bundesamt, 2018). Deshalb ist die Studienpopulation als ethnisch sehr homogen einzuordnen.

Die japanische Population, in der die Untersuchung von Ueda et al. (2003) stattgefunden hat, ist ebenfalls als ethnisch sehr homogen anzusehen. In Japan hatten im Jahr 2000 etwa 1 % der Einwohner einen Migrationshintergrund (Statistics\_Bureau\_of\_Japan, 2015). Es ist davon auszugehen, dass die Population dieser Studie überwiegend aus Japanern besteht. Die anderen Vergleichsstudien untersuchten sehr heterogene ethnische Populationen (Tab. 7).

Yale et al. (1963) untersuchten 251 kaukasische und afroamerikanische Präparate und 176 hispanische Präparaten. Solberg et al. (1985) untersuchten ebenso wie Christiansen et al. (1987) eine US-amerikanische Population. In der Population von Solberg et al. (1985) waren 51 % kaukasischer, 32 % afroamerikanischer, 14 % hispanischer und 3 % asiatischer Herkunft.

Christiansen et al. (1987) beschrieben ihre Population nicht genauer, führten ihre Untersuchungen jedoch im US-Bundesstaat Kalifornien durch. Die Population dort bestand zu 40,1 % aus Kaukasiern, zu 37,6 % aus Hispaniern, zu 12,8 % aus Asiaten, zu 5,8 % aus Afroamerikanern, zu 0,4 % aus amerikanischen Ureinwohnern und zu 3,3 % aus anderen Ethnien (United\_States\_Census\_Bureau, 2010).

Die untersuchten Präparate von Anagnostopoulou and Venieratos (1986) setzten sich aus 170 Präparaten der Sammlung des Smithsonian Museum, Washington D.C., USA, und aus 84 Präparaten der anatomischen Sammlung der Universität Athen zusammen. Die Präparate sind in ihrer Herkunft sehr heterogen.

Bezogen auf die Ethnien stellt die SHIP-Studie am ehesten die Verteilung der Kiefergelenksformen von kaukasischen Probanden dar. Hier kommt der elliptische Typ B-Kondylus mit einer Prävalenz von 72,1 % am häufigsten vor. Bei Japanern ist die Prävalenz derselben Kondylusform mit 33,3 % deutlich geringer. Auch andere Ethnien scheinen eine geringere Prävalenz von elliptischen Typ B-Kondylen zu haben. In den Studien mit ethnisch heterogenen Populationen waren die Prävalenz der Typ B-Kondylen mit 43 % (Christiansen et al., 1987); 38 % (Anagnostopoulou and Venieratos, 1986), 50 % (Solberg et al., 1985) und 47,3 % (Yale et al., 1963) deutlich geringer. Ob dieser Zusammenhang ursächlich besteht, müssen weiterführende Untersuchungen, die die ethnische Herkunft der Probanden miterfassen, klären.

### *Einfluss von Geschlecht und Alter auf die Kondylusform*

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein häufigeres Auftreten der runden Typ C-Kondylen bei weiblichen Probanden beobachtet. Es ist 2,59-mal wahrscheinlicher, dass ein Proband mit einem linken Typ C-Kondylus weiblich ist ( $p=0,003$ ) als bei Typ B-Kondylen. Auf der rechten Seite ist diese Tendenz nicht statistisch signifikant ( $p=0,072$ ).

Bei der Betrachtung der Kondylusformen in den verschiedenen Altersgruppen kam es zu Schwankungen der Verteilung der Kondylusformen. Probanden mit Typ D-Kondylen auf der rechten Seite sind im Mittel 4,8 Jahre jünger als Probanden mit Typ B-Kondylen ( $p=0,026$ ). Im Gegensatz dazu sind Probanden mit Typ E-Kondylus links im Mittel 5,7 Jahre älter als Probanden mit Typ B-Kondylus ( $p=0,028$ ). Diese Beobachtungen sind jedoch in den meisten Vergleichsarbeiten ohne Signifikanz (Yale et al., 1963; Solberg et al., 1985; Christiansen et al., 1987). Nur Ueda et al. (2003) kam zu dem signifikanten Ergebnis, dass Frauen häufiger elliptische Typ B-Kondylen besitzen und Männer häufiger unregelmäßig gegabelte Kondylen aufweisen.

### *Symmetrie der Kondylusformen*

70,72 % der Probanden der SHIP-Studie besitzen auf der rechten und auf der linken Seite die gleiche Kondylusform. Yale et al. (1963) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis von 78,6 %. Ueda et al. (2003) beobachteten hingegen nur bei 19,9 % der Probanden eine symmetrische Form der beiden Kondylen. Ein Erklärungsansatz für diese Diskrepanz der Ergebnisse könnte die Probandenstruktur sein. Ueda et al. (2003) beschäftigten sich mit japanischen Patienten der HNO mit Mittel- oder Außenohrschäden. Der Einfluss von Mittelohrschäden auf den Funktionsablauf im Kiefergelenk und eventuelle Einflüsse auf die Form des Kondylus ist nur wenig untersucht, wäre aufgrund der großen topographischen Nähe jedoch denkbar. Faerber et al. (1990) beschreiben beispielsweise, wie eine Otitis media bei gleichzeitiger Mastoiditis zur Ankylose im Kiefergelenk führen kann. Das seltenere Auftreten von Symmetrie könnte ebenfalls durch die Verschiedenheit in der Form des Gesichtsschädels der japanischen und der vorpommerschen Populationen begründet sein (Shea, 1977; Rae et al., 2003; Drefs, 2012). Der Krankheitswert und damit die klinische Bedeutung von asymmetrischen Kondylusformen muss in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden. Hier ist vor allem die Assoziation mit CMD-Symptomen wie Schmerzen von Interesse. Die SHIP-Studie bietet zur Untersuchung dieser Fragestellung weitere Daten.



Tab. 7 Vergleichsliteratur zum Thema Kondylusformen

Studie	Material	Probandengut	Formen (Vergleich stypen dieser Studie)	Anzahl absolut	Anzahl relativ	Gesamt zahl Kondyl en	Symme- trische Formen
Yale et al. 1963	Fotos	Anatomische Sammlung St. Louis und Mexico City, Nord- amerikanische Population	Flach (A)	233	27,2%	858	78,6%
			Elliptisch (B)	406	47,3%		
			Rund (C)	104	12,1%		
			Anguliert (D+E)	115	13,4%		
Solberg et al. 1985	Human- präparate	13 bis 37- jährige US- Amerikaner linke Kondylen	Abgeflacht (A)	14	23%	46	k.A.
			Rundlich (B+C)	23	50%		
			Anguliert (D+E)	9	20%		
Anagnostopou lou et al. 1986	Humane Trocken- präparate	Anatomische Sammlung Smithsonian Museum und Universität Athen	Flach (A)	56	11%	508	k.A.
			Elliptisch (B)	193	38%		
			Rund (C)	50	10%		
			Anguliert (D+E)	209	41%		
Christiansen et al 1987	CT	21 bis 83- jährige US Amerikaner mit und ohne CMD- Symptomatik	Flach (A)		34%	106	k.A.
			Elliptisch (B)		43%		
			Rund (C)		9 %		
			Anguliert (D+E)		19%		
Ferrario et al. 1997	OPG	16 bis 37- jährige gesunde Norditaliener	Die Oberflächen der Kondylen wurden direkt miteinander verglichen, nicht kategorisiert			80	k.A.
Ueda et al. 2003	Spiral CT	4 bis 89-jährige HNO-Patienten, japanische Population	Flach (A)	28	4,4%	634	19,9%
			Elliptisch (B)	211	33,3%		
			Rund (C)	93	14,7%		
			Konkav	133	20,9%		
			Anguliert (D+E)	169	26,7%		
SHIP 2019	MRT	Bevölkerungs- repräsentative Stichprobe, Vorpommern Greifswald	Flach (A)	122	8,8%	1384	70,7%
			Elliptisch (B)	998	72,1%		
			Rund (C)	119	8,6%		
			Typ D + E	145	10,5%		

## 5.2 Weichgewebsdicke kranial des Kondylus

### *Schräg koronare Schichtaufnahmen*

Die größte Weichgewebsdicke kranial des Kondylus auf schräg koronaren Schichtaufnahmen lag in unserer Arbeit durchschnittlich bei 4,67 mm auf der rechten Seite und bei 4,69 mm auf der linken Seite (vergl. Tab. 23, im Anhang). Messungen des kranialen Gelenkspaltes von Probanden ergaben 2,15 mm rechts und 2,05 mm links (O'Byrn et al., 1995), 2,65 mm rechts und 2,51 mm links (Okur et al., 2012), 3,07 mm (Lemke et al., 2005) und 3,5 mm (Peroz et al., 2011). Der kraniale Gelenkspalt ist bei Patienten mit einer anterioren Diskusdislokation ohne Reposition signifikant geringer (Lemke et al., 2005; Peroz et al., 2011). Okur et al. (2012) beschrieben den gegenteiligen Effekt.

In den o.g. Studien wurden die kranialen Gelenkspalten vermessen. Diese Größe wird auf einem schräg koronaren Schnittbild mittig und senkrecht über dem Kondylus gemessen. In der vorliegenden Untersuchung wurde die größte Ausdehnung des Weichgewebes kranial des Kondylus und senkrecht zur artikulierenden Fläche gemessen. Diese beiden Messwerte können je nach medio-lateraler Position des Weichgewebes und der Rundung des Kondylus stark voneinander abweichen. Ein Vorteil unseres Vorgehens war die gute Reproduzierbarkeit unserer Messergebnisse, die sich in der geringen Interobserverabweichung von 0,58 % auf der rechten Seite und 0,74 % auf der linken Seite zeigte. Zudem wurde in unserer Methodik individueller auf die Morphologie des Probanden eingegangen, was zu einem realeren Ergebnis führt.

Der in verschiedenen Studien angedeutete Zusammenhang zwischen der Dicke des kranialen Weichgewebes und einer funktionellen Störung des kranio-mandibulären Systems sollte in künftigen Studien stärker in den Mittelpunkt gerückt werden. Die SHIP-Studie eignet sich sehr gut für derartige Untersuchungen, da neben den hier beschriebenen Weichgewebsdicken auch zahnmedizinische Befunde erhoben wurden.

Männliche Probanden hatten eine signifikant größere Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus als Frauen. Dies ist anhand der höheren durchschnittlichen Körpergröße von Männern erklärbar (N.-C.-D.-Risk-Factor-Collaboration, 2016). Die Zunahme der größten Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus mit zunehmendem Alter war nur für die linke Seite als signifikant in dieser Untersuchung nachzuweisen. Die jährliche Zunahme betrug 0,005 mm auf der rechten Seite ( $p=0,072$ ) und 0,007 mm auf der linken Seite ( $p=0,008$ ). Nach

unserem aktuellen Kenntnisstand gibt es keine vergleichbaren Studien, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben.

### *Schräg sagittale Schichtaufnahmen*

Bei weiblichen Probanden befand sich über alle Altersgruppen durchschnittlich mehr Weichgewebe 45° anterior des Kondylus (HW 45 ant) als posterior (HW 45 post). Die Gruppe der 60 bis 69-Jährigen bildete mit der rechten Seite eine Ausnahme. Hier war das Weichgewebe 45° posterior des Kondylus (HW 45 post) dicker als das anteriore (HW 45 ant). Bei männlichen Probanden war nur in der Altersgruppe I das anteriore Weichgewebe (HW 45 ant) größer als das posteriore (HW 45 post). In allen anderen Altersgruppen lag bei männlichen Probanden der größere Anteil des Weichgewebes posterior des Scheitelpunktes des Kondylus. Mit steigendem Alter nahm die Weichgewebisdifferenz (HWD) unabhängig vom Geschlecht der Probanden kleinere Werte an.

Im nicht pathologisch veränderten Kiefergelenk befinden sich die dickeren Knorpelanteile in anterioren Bereich des Kondylus (Fanghänel et al., 2006). Im degenerativ veränderten Kiefergelenk ist der Hauptanteil des Knorpelgewebes auf dem posterioren Anteil des Kondylus zu finden (Kubein-Meesenburg et al., 2007). Ein Verlust von Zähnen und Stützzonen erhöht das Risiko für Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems (Mundt et al., 2005). Da der Verlust von Zähnen im Alter steigt, ist das Risiko, an degenerativen Kiefergelenkserkrankungen zu erkranken, größer. Diesen Zusammenhang beschrieben auch Ishibashi et al. (1995). Es würde die Verschiebung der größeren Weichgewebisdicke von anterior nach posterior bei zunehmendem Lebensalter zumindest nahelegen.

### 5.3 Einfluss der Form des Kondylus auf seine größte kraniale Weichgewebisdicke (HW)

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass die Weichgewebisdicke (HW) kranial des Kondylus von seiner Form beeinflusst wird. Elliptische Typ B-Kondylen wiesen eine durchschnittliche Weichgewebisdicke (HW) von rechts 4,73 mm und links 4,69 mm auf. Flache Kondylen vom Typ A zeigten rechts ein 0,13 mm ( $p=0,355$ ) und links ein 0,44 mm ( $p<0,001$ ) dickeres Weichgewebe (HW) als die Kondylen vom Typ B. Die runden Typ C-Kondylen zeigten hingegen eine mit rechts -0,74 mm und links mit -0,56 mm signifikant ( $p<0,001$ ) geringere Weichgewebisdicke (HW) als die Kondylen vom Typ B. Bei den Kondylen vom Typ D und vom Typ E waren im Vergleich zu Typ B-Kondylen keine klaren Tendenzen erkennbar. Ob dieser Zusammenhang rein anatomisch deskriptiv ist oder eine Anpassung an Gelenksveränderung durch beispielsweise Erkrankungen des

kraniomandibulären Systems ist, ist in der Literatur unseres Wissens zur Zeit nicht eindeutig untersucht. Hansson and Nordstrom (1977) beschrieben eine nicht näher klassifizierte Abweichung der Kondylusform im Zusammenhang mit funktionsgestörten Kiefergelenken. Hier fielen häufig dünnere Bereiche und Kontinuitätsunterbrechungen am Discus articularis auf. Auch hier bietet die SHIP-Studie eine gute Datengrundlage, um weiterführende Untersuchungen durchzuführen und so die Ursachen zu ergründen.

Die Symmetrie der Kondylusformen eines einzelnen Probanden hat offenbar keinen Einfluss auf die Seitendifferenz der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus. Unabhängig davon, ob die Formen der Kondylen übereinstimmten oder nicht, ergab sich eine mittlere Differenz ( $|HW_{re} - HW_{li}|$ ) der Weichgewebshöhen von 0,63 mm ( $p > 0,05$ ). Im Gegensatz dazu lagen die Differenzen der kranialen Gelenkspalten bei dysgnathen Patienten mit Angle Klasse II 1 bei 0,12 mm (Vital et al., 2004) und bei dysgnathen Patienten mit Angle Klasse I bei 0,02 mm (Rodrigues et al., 2009). Hierbei unterscheidet sich das Probandengut deutlich von den Probanden der vorliegenden Untersuchung, die als annähernd bevölkerungsrepräsentativ einzustufen sind. Die Vergleichsstudien sind Auswertungen von CT-Aufnahmen. Die eingeschränkte Beurteilbarkeit des Weichgewebes auf CT-Aufnahmen ließ hier nur eine Vermessung des Gelenkspaltes kranial des Kondylus zu. Der kraniale Gelenkspalt unterscheidet sich im Einzelfall jedoch deutlich von der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus, der in unserer Studie untersucht wurde. Die von uns gemessenen Werte und damit auch die Differenzen ( $|HW_{re} - HW_{li}|$ ) sind aus diesem Grund größer als die der Vergleichsliteratur.

#### 5.4 Material und Methodenkritik

Die untersuchten MRT-Datensätze wurden mit einem 1,5 Tesla-Gerät aufgenommen. Diese Aufnahmen sind jedoch zur Feindiagnostik und Beschreibung der Morphologie des Discus articularis nur eingeschränkt geeignet (Schmid-Schwap et al., 2009), sodass in dieser Untersuchung nur Messungen und Aussagen zum Weichgewebe insgesamt und nicht speziell zum Discus articularis und seinen Bestandteilen möglich waren.

In dieser Studie wurde die Untersuchung von zwei Observern vorgenommen. Hierdurch konnte die Plausibilität der gemessenen und kategorisierten Variablen verstärkt werden. Um eine Unabhängigkeit der Observer zu gewährleisten und eine nachträgliche Veränderung von Daten zu unterbinden, wurde die Auswertung in einer Webmaske durchgeführt. Die Observer konnten eingegebene Daten nur unter Angabe von wichtigen Gründen korrigieren. Die zeitliche Abfolge der Eintragungen blieb nachvollziehbar. Zusätzlich wurden alle Messwerte

mit Hilfe eines Plug-Ins in die Webmaske übertragen. Tippfehler konnten so verhindert werden. Die aufgenommenen Daten wurden auf Lerneffekte überprüft, um die Korrektheit auch über die gesamte Untersuchung hin zu gewährleisten.

Die sehr geringe Interobserverabweichung der Messwerte gehören zu den Vorzügen dieser Studie. Die Variable der Form des Kondylus stimmte rechts zu 93,2 % ( $\text{Kappa} = 0,85$ ) und links zu 92,1 % ( $\text{Kappa} = 0,82$ ) zwischen den beiden Observern überein. Die stetigen Variablen haben mit einer mittleren Interobserverabweichung von 0,19 % bis 1,11 % eine sehr gute Übereinstimmung (vergl. Tab. 39, im Anhang). Beide Maße sprechen für eine Methodik mit eindeutigen Definitionen und guter Reproduzierbarkeit der Messwerte. Der Zuwachs an Validität, der durch die doppelte Messung jedes Messwertes entstand, ging allerdings mit der Verdopplung des Readingaufwandes einher.

Während der Auswertung erfolgte der Zugriff auf die Daten über Mathematiker des Institutes für Community Medicine der Universität Greifswald. Auch dieser Fakt minimiert die Manipulierbarkeit der Ergebnisse.

In dieser Untersuchung wurde als Bezugsebene zur Ausrichtung der Probanden die Frankfurter Horizontale Ebene gewählt. Diese ist auch an MRT-Datensätzen sehr gut reproduzierbar (Daboul et al., 2012). Während der Anfertigung der MRT-Aufnahmen erhielten die Probanden keine Anweisungen zur Unterkieferhaltung, da der ursprüngliche Hintergrund die Untersuchung des Neurokraniums und seines Inhaltes war. Die Probanden erhielten die Routineanweisung, sich möglichst wenig zu bewegen. Es ist davon auszugehen, dass die Mehrheit der Probanden die habituelle Okklusion einnahm. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass einige Probanden die Ruheschwebelage des Unterkiefers eingenommen hatten. Dies hätte zu einer geringen Abweichung der Formen und der Messwerte geführt. So ergaben vorausgegangene Untersuchungen einen signifikanten Unterschied der Dicke des posterioren Bandes des Diskus von 0,49 mm bei einer Öffnung der Zahnreihen von 10 mm im Vergleich zur habituellen Okklusion (Wang et al., 2009). Da der durchschnittliche Abstand der Zahnreihen in Ruheschwebelage im eugnathen Gebiss 2-4 mm beträgt (Röder, 2003), ist von einem deutlich geringeren Einfluss auszugehen.

Bei der Kategorisierung der Kondylusformen wurden die etablierte Formeinteilung von Yale et al. (1963) überarbeitet und die Formvariante "anguliert" um die Lage des Scheitelpunktes der Angulation auf der Facies articularis ergänzt. Diese weitere Form führte zu mehr ungleichen Entscheidungen der Observer. Die weitere Form führte zu seltenerem Auftreten

dieser Formen und erschwerte dadurch statistisch signifikante Aussagen. Der Einfluss auf das Alter der Probanden wäre jedoch ohne diese zusätzlichen Formen nicht erfasst worden.

## 5.5 Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf die in der Einleitung formulierten Ziele kommt die vorliegende Untersuchung zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Form der Processus condylares mandibulae wurde in der Region Vorpommern-Greifswald untersucht und in fünf verschiedenen Formen eingeordnet. 72,11 % der 1384 Kondylen wiesen elliptisch geformte Typ B-Kondylen auf. 8,82 % der Kondylen hatten eine flache Typ A Form. 8,60 % der Kondylen waren rund geformt und dem Typ C zuzuordnen. 6,00 % der Kondylen wurden dem Typ D zugeordnet und wiesen einem Scheitelpunkt auf dem lateralen Anteil der Gelenkfläche auf. 4,48 % der Kondylen wurden dem Typ E zugeordnet und wiesen einen Scheitelpunkt auf der medialen Gelenkfläche auf.
2. 70,72 % der Probanden wiesen rechts und links die gleiche Kondylusform auf.
3. In schräg koronaren MRT betrug die Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus an seiner größten Ausdehnung auf der rechts Seite 4,67 mm und auf der linken Seite 4,69 mm. In schräg sagittalen MRT-Aufnahmen betrug die Weichgewebsdicke 45° anterior des Scheitelpunktes des Kondylus (HW 45 ant) auf der rechten Seite im Mittel 4,35 mm und posterior (HW 45 post) auf der rechten Seite im Mittel 4,30mm. Auf der linken Seite war die anteriore Weichgewebsdicke (HW 45 ant) im Mittel 4,46 mm und posterior (HW 45 post) im Mittel 4,30 mm stark. Es befand sich im Mittel anterior des Scheitelpunktes des Kondylus dickeres Weichgewebe als posterior.
4. Unter den Probanden mit runden Typ C-Kondylen sind 2,59-mal so viele Frauen wie Männer. Dies gilt jedoch nur für den linken Kondylus ( $p=0,003$ ). Auf der rechten Seite konnte kein signifikanter Zusammenhang hergestellt werden ( $p=0,072$ ). Alle anderen Formen kommen unabhängig vom Geschlecht vor. Probanden mit rechtem Typ D-Kondylus sind im Mittel 4,8 Jahre jünger als Probanden mit elliptischen Typ B-Kondylus ( $p=0,026$ ). Probanden mit Typ E-Kondylen auf der rechten Seite sind im Mittel 5,7 Jahre älter als Probanden mit elliptischen Typ B-Kondylen ( $p=0,028$ ). Bei allen anderen Formen konnte kein Zusammenhang mit dem Alter der Probanden hergestellt werden.

Die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus war bei männlichen Probanden auf der rechten Seite um 0,75 mm dicker als bei Frauen. Auf der linken Seite lag der Unterschied

bei 0,72 mm ( $p < 0,001$ ). Die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus ist vom Alter der Probanden abhängig. Die Weichgewebsdicke (HW) nimmt pro Lebensjahr um 0,005 mm ( $p = 0,072$ ) auf der rechten Seite und um 0,007 mm ( $p = 0,008$ ) auf der linken Seite zu. Die Differenz der Weichgewebsdicken anterior und posterior des Kondylus auf schräg sagittalen MRT-Aufnahmen (HWD) ist bei männlichen Probanden auf der rechten Seite 0,55 mm und auf der linken Seite 0,41 mm ( $p < 0,001$ ) negativer als bei weiblichen Probanden. Die Differenz (HWD) sinkt unabhängig vom Geschlecht statistisch signifikant pro Lebensjahr um 0,02 mm ( $p < 0,001$ ) auf der rechten Seite und um 0,01 mm ( $p = 0,001$ ) auf der linken Seite.

5. Die Form des Kondylus hat Einfluss auf die größte Weichgewebsdicke kranial des Kondylus (HW). Flache Typ A-Kondylen haben auf der rechten Seite eine 0,13 mm ( $p = 0,355$ ) und auf der linken Seite eine 0,44 mm ( $p < 0,001$ ) größere Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus als elliptische Typ B-Kondylen. Runde Typ C-Kondylen haben auf der rechten Seite eine 0,74 mm ( $p < 0,001$ ) und auf der linken Seite eine 0,56 mm ( $p < 0,001$ ) geringere Weichgewebsdicke (HW) als elliptische Typ B-Kondylen. Bei Typ D- und Typ E-Kondylen gibt es keinen Zusammenhang ( $p > 0,05$ ).

## 6 Zusammenfassung

Die Study of Health in Pomerania (SHIP) der Universität Greifswald ist eine randomisierte, kontrollierte und bevölkerungsrepräsentative Untersuchung und bildet die Grundlage der vorliegenden Arbeit. In dieser Arbeit wurde der Einfluss des Alters und des Geschlechts auf die Anatomie des Kiefergelenks und speziell auf die Form des Processus condylaris mandibulae und die Dicke der Weichgewebe kranial des Kondylus untersucht. Grundlage dieser Untersuchung sind multiplanare Rekonstruktionen von T1 gewichteten axialen Bildern mit 1 mm starken Schichten des 1,5 Tesla Magnetresonanztomograph Magnetom Avanto der Firma Siemens Medical Systems.

Die MRT-Aufnahmen wurden mithilfe des open source-Programms Osirix für Mac OS befundet. Es wurden fünf Formen des Processus condylaris mandibulae kategorisiert und die Dicke des Weichgewebes kranial des Kondylus in 3 Bereichen vermessen. Zwei Observer erhoben ohne Kenntnis von Alter und Geschlecht der Probanden und unabhängig voneinander die Daten. Alle Messwerte wurden über ein Plug-In automatisch in eine zugriffsbeschränkte Webmaske überführt. Bei Abweichungen zwischen den Observern in der Kategorie der *Form des Kondylus* legte ein dritter Observer unabhängig die Form fest. Bei allen stetigen Variablen wurde der Mittelwert der beiden gemessenen Werte zur Auswertung herangezogen. Die Untersuchung der Interobserverabweichung war gering und lässt so auf eine gute Reproduzierbarkeit der Messwerte schließen.

Von den 707 Probanden wurden bei 696 das entsprechende Kopf-MRT angefertigt. Bei 692 konnten die Kondylusformen kategorisiert werden. Ursachen für die fehlende Kategorisierbarkeit waren überwiegend Artefaktbildungen durch Bewegungen während der Aufnahmen.

Es wurden die fünf folgenden Kondylusformen kategorisiert: flache Typ A-Kondylen, elliptische Typ B-Kondylen, runde Typ C-Kondylen, Kondylen vom Typ D mit einem Scheitelpunkt auf dem lateralen Anteil der artikulierenden Fläche und Kondylen vom Typ E mit einem Scheitelpunkt auf dem medialen Anteil der artikulierenden Fläche. 8,82 % der Kondylen waren vom Typ A, 72,11 % konnten dem Typ B zugeordnet werden. 8,60 % der Kondylen gehörten zum Typ C. Typ D-Kondylen waren zu 6,00 % und Typ E-Kondylen zu 4,48 % zu beobachten. Einige Formen scheinen geschlechtsspezifischer zu sein als andere. So waren unter den Probanden mit einem runden Typ C-Kondylus auf der linken Seite 2,59-mal so viele Frauen ( $p=0,003$ ) wie unter den Probanden mit elliptischen Typ B-Kondylen. Auch das Alter scheint einen Einfluss auf die Kondylusform zu haben. Probanden mit einem



rechten Typ D-Kondylus waren durchschnittlich 4,8 Jahre jünger als Probanden mit einem elliptischen Typ B-Kondylus auf der rechten Seite. Probanden mit einem rechten Typ E-Kondylus waren durchschnittlich 5,7 Jahre älter als Probanden mit einem rechtem Typ B-Kondylus. Symmetrische Kondylusformen rechts und links traten bei 70,72 % der Probanden auf und waren signifikant häufiger ( $p < 0,001$ ). Ob asymmetrische Kondylusformen einen Krankheitswert darstellen, muss in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden.

Die größte Weichgewebsdicke kranial des Kondylus auf schräg koronaren Schichtaufnahmen senkrecht zur Facies articularis war rechts 4,67 mm und links 4,69 mm stark. Ältere Probanden hatten pro Lebensjahr eine um 0,007 mm ( $p = 0,008$ ) stärkere Weichgewebsdicke kranial des Kondylus auf der linken Seite. Rechts bestand keine Signifikanz ( $p = 0,072$ ). Die größte Weichgewebsdicke kranial des Kondylus war bei Männern rechts 0,75 mm und links 0,72 mm dicker als bei Frauen ( $p < 0,001$ ).

Auf schräg sagittalen Schnitten durch das Kiefergelenk wurden in zwei weiteren Bereichen die Weichgewebsdicke gemessen. Beide Weichgewebsdicken wurden vom kranialen Scheitelpunkt des Kondylus  $45^\circ$  zur Frankfurter Horizontalen nach anterior (HW 45 ant) und  $45^\circ$  zur Frankfurter Horizontalen nach posterior (HW 45 post) vermessen. Die Differenz (HWD) von anteriorer (HW 45 ant) und posteriorer (HW 45 post) Weichgewebsdicke lässt Rückschlüsse auf die antero-posteriore Verteilung des Weichgewebes um den Kondylus zu. Ist die Differenz (HWD) positiv, so befindet sich mehr Weichgewebe anterior des Kondylus. Ist die Differenz (HWD) negativ, so befindet sich mehr Weichgewebe posterior des Kondylus. Die Differenz (HWD) war bei Männern rechts um 0,55 mm ( $p < 0,001$ ) und links um 0,41 mm ( $p < 0,001$ ) geringer als bei Frauen. Die Weichgewebsdifferenz (HWD) nahm unabhängig vom Geschlecht pro Lebensjahr rechts um 0,018 mm ( $p < 0,001$ ) und links um 0,011 mm ( $p < 0,001$ ) ab.

Die Form des Kondylus hatte Einfluss auf die größte Weichgewebsdicke (HW) kranial des Kondylus. Flache Typ A-Kondylen hatten rechts 0,13 mm ( $p = 0,355$ ) und links 0,44 mm ( $p < 0,001$ ) größere Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus als elliptische Typ B-Kondylen. Runde Typ C-Kondylen hatten rechts 0,74 mm ( $p < 0,001$ ) und links 0,56 mm ( $p < 0,001$ ) geringere Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus als elliptische Typ B-Kondylen.

Die Methodik der vorliegenden Arbeit ist geeignet um Formen des Processus condylaris mandibulae reproduzierbar festzulegen und um das Weichgewebe kranial des Processus condylaris mandibulae reproduzierbar zu vermessen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Ahlers M, Jakstat H (2000) Klinische Funktionsanalyse. Hamburg, denta concept
- Alt K W, Türp J C (1997) Die Evolution der Zähne. Berlin, Quintessenz
- Anagnostopoulou S, Venieratos D (1986) Quantitative Method for the Classification of Human Mandibular Condyles. Cells Tissues Organs 127: 201-204
- Antonopoulou M, Iatrou I, Paraschos A, Anagnostopoulou S (2013) Variations of the attachment of the superior head of human lateral pterygoid muscle. J Cranio Maxill Surg 41: e91-e97
- Aumüller G, Wennemuth G (2014) Kiefergelenk und Kaumuskulatur. In: Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wennemuth G, Wolf W, Wurzing L J & Zilch H-G (Hrsg.), Anatomie. Stuttgart, Thieme, pp 933-941
- Bade H, Schenck C, Koebke J (1994) The function of discomuscular relationships in the human temporomandibular joint. Acta Anat 151: 258-267
- Benner K, Fanghänel J, Kowalewski R, Kubein-Meesenburg D, Randzio J (1993) Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenks. Berlin, Quintessenz
- Bernhardt O, Kordaß B, Meyer G (2014) The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMDs)/Der diagnostische Wert von computergestützten Kieferbewegungsaufzeichnungen bei arthrogenen kranio-mandibulären Dysfunktionen. J CranioMand Func 6: 39-50
- Böhm A, Rammelsberg P, May H, Pho Duc J, Pospiech P, Gernet W (1995) Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalysen zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen. Dtsch Zahnärztl Z 50: 35-39
- Bouvier M (1988) Effects of age on the ability of the rat temporomandibular joint to respond to changing functional demands. J Dent Res 67: 1206-1212
- Braus H (1929) Spezielle Bewegungsorgane des Kopfes (und Kopfmuskeln des Halses). In: Elze C (Hrsg.), Bewegungsapparat. Berlin, Springer, pp 636-796

- Bülow R. (2017). Bevölkerungsbasierte Ganzkörper-MRT (SHIP-MRT). from <http://www2.medizin.uni-greifswald.de/diagrad/index.php?id=405>
- Bumann A, Lotzmann U, Rateitschak K (2000) Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Stuttgart, Thieme
- Chen W H, Hosokawa M, Tsuboyama T, Ono T, Iizuka T, Takeda T (1989) Age-related changes in the temporomandibular joint of the senescence accelerated mouse. SAM-P/3 as a new murine model of degenerative joint disease. Am J Pathol 135: 379-385
- Christiansen E L, Chan T T, Thompson J R, Hasso A N, Hinshaw D B, Jr., Kopp S (1987) Computed tomography of the normal temporomandibular joint. Scand J Dent Res 95: 499-509
- Csaszar G, Bruennlein U, Held P (2000) Kernspintomographische Untersuchung morphologischer Veränderungen des Kiefergelenks in der Dysgnathiechirurgie. IOK 33: 353-359
- Daboul A, Schwahn C, Schaffner G, Soehnel S, Samietz S, Aljaghsi A, Habes M, Hegenscheid K, Puls R, Klinker T, Biffar R (2012) Reproducibility of Frankfurt horizontal plane on 3D multi-planar reconstructed MR images. PLoS One 7: e48281
- Dauber W (1987) The adjacent structural relationships of the articular disk of the temporomandibular joint and its functional importance. Schweiz Monatsschr Zahnmed 97: 427-437
- Drefs M. (2012). Biometrische Untersuchungen zum Einfluss klimatischer Faktoren auf die Morphologie der Cavitas nasi beim Menschen. Med Diss, Universität Greifswald
- Drenckhahn D, Benninghoff (2003) Allgemeine Gelenk- und Knochenlehre. In: Drenckhahn D (Hrsg.), Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. München, Urban & Fischer, pp 254-266
- Eisenburger M, Haubitz B, Schmelzeisen R, Wolter S, Tschernitschek H (1999) The human mandibular intercondylar angle measured by computed tomography. Arch Oral Biol 44: 947-951

- Emshoff R, Jank S, Bertram S, Rudisch A, Bodner G (2002) Disk Displacement of the Temporomandibular Joint: Sonography Versus MR Imaging. *AJR Am J Roentgenol* 178: 1557-1562
- Ettlin D, Gallo L M (2019) Das Kiefergelenk in Funktion und Dysfunktion. Stuttgart, Thieme
- Faerber T H, Ennis R L, Allen G A (1990) Temporomandibular joint ankylosis following mastoiditis: Report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 48: 866-870
- Fanghänel J, Petra F, Anderhuber F, Nitsch R (2009) Waldeyer– Anatomie des Menschen. Berlin, Walter de Gruyter
- Fanghänel J, Proff P, Dietze S, Bayerlein T, Mack F, Gedrange T (2006) The morphological and clinical relevance of mandibular and maxillary bone structures for implantation. *Folia morphol* 65: 49-53
- Ferrario V F, Sforza C, Miani A, Jr., Sigurta D (1997) Asymmetry of normal mandibular condylar shape. *Acta Anat* 158: 266-273
- Freemeyer W B (2000) Was man vom Kiefergelenk des Menschen wissen sollte. *Man Med Osteopath Med* 38: 316-321
- Frick H, Starck D (1963) Vom Reptil- zum Säugerschädel. *Z Säugetierkd* 28: 321-341
- Furstman L (1963) The early development of the human temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 49: 10
- Gazit D, Ehrlich J, Kohen Y, Bab I (1987) Effect of occlusal (mechanical) stimulus on bone remodelling in rat mandibular condyle. *J Oral Pathol* 16: 395-398
- Gianelly A A, Petras J C, Boffa J (1989) Condylar position and Class II deep-bite, no-overjet malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96: 428-432
- Gysi A (1926) Artikulation. In: Bruhn C, Gutowski F, Gysi A, Hauptmeyer F, Loewe S, Kukulies K, Wustrow P & Bruhn C (Hrsg.), *Zahnärztliche Prothetik*. Berlin, Springer pp 165-301
- Haass C. (2007). Adaptation jugendlicher Kiefergelenke bei Behandlung des Distalbisses mit dem Herbstscharnier. Med Diss, Freie Universität Berlin

- Hansson T, Nordstrom B (1977) Thickness of the soft tissue layers and articular disk in temporomandibular joints with deviations in form. *Acta Odontol Scand* 35: 281-288
- Hansson T, Oberg T (1977) Arthrosis and deviation in form in the temporomandibular joint. A macroscopic study on a human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 35: 167-174
- Hegenscheid K, Kuhn J P, Volzke H, Biffar R, Hosten N, Puls R (2009) Whole-body magnetic resonance imaging of healthy volunteers: pilot study results from the population-based SHIP study. *Rofo* 181: 748-759
- Hinton R J (1981) Changes in articular eminence morphology with dental function. *Am J Phys Anthropol* 54: 439-455
- Hodge L C, Jr., Mahan P E (1967) A study of mandibular movement from centric occlusion to maximum intercuspation. *J Prosthet Dent* 18: 19-30
- Honey O B, Scarfe W C, Hilgers M J, Klueber K, Silveira A M, Haskell B S, Farman A G (2007) Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132: 429-438
- Hupfauf L, Engelhardt J P, Fuhr K, Gausch K, Graber G, Hausamen J E, Koeck B, Komposch G, Krogh-Poulsen W, Lotzmann U, Lückerrath W, Meyer G, Reiber T, Reich R, Reuling N, Siebert G K, Troest T (1995) *Funktionsstörungen des Kauorgans*. München, Urban & Schwarzenberg
- Ishibashi H, Takenoshita Y, Ishibashi K, Oka M (1995) Age-related changes in the human mandibular condyle: a morphologic, radiologic, and histologic study. *J Oral Maxillofac Surg* 53: 1016-1023
- Ismail Y H, Rokni A (1980) Radiographic study of condylar position in centric relation and centric occlusion. *J Prosthet Dent* 43: 327-330
- Jalbert F, Paoli J R (2008) Osirix: free and open-source software for medical imagery. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 109: 53-55
- John U, Greiner B, Hensel E, Ludemann J, Piek M, Sauer S, Adam C, Born G, Alte D, Greiser E, Haertel U, Hense H W, Haerting J, Willich S, Kessler C (2001) Study of

- Health In Pomerania (SHIP): a health examination survey in an east German region: objectives and design. *Soz Präventivmed* 46: 186-194
- Karlo C A, Stolzmann P, Habernig S, Muller L, Saurenmann T, Kellenberger C J (2010) Size, shape and age-related changes of the mandibular condyle during childhood. *Eur Radiol* 20: 2512-2517
- Katzberg R W (2012) Is ultrasonography of the temporomandibular joint ready for prime time? Is there a “window” of opportunity? *J Oral Maxillofac Surg* 70: 1310-1314
- Keith D A (1982) Development of the human temporomandibular joint. *Br J Oral Surg* 20: 217-224
- Kiefer H, Lambrecht J T, Roth J (2004) Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114: 687-693
- Kim H J, Jung H S, Kwak H H, Shim K S, Hu K S, Park H D, Park H W, Chung I H (2004) The discomalleolar ligament and the anterior ligament of malleus: an anatomic study in human adults and fetuses. *Surg Radiol Anat* 26: 39-45
- Koppe T, Schöbel S, Bärenklau M, Bruchhaus H, Jankauskas R, Kaduk W (2007) Factors affecting the variation in the adult temporomandibular joint of archaeological human populations. *Ann Ant* 189: 320-325
- Kordass B, Hugger A (2011) Bildgebende Untersuchungsverfahren. In: Ahlers M O & Jakstat H A (Hrsg.), *Klinische Funktionsanalyse*. Hamburg, dentaConcept, pp 511-542
- Kubein-Meesenburg D, Fanghänel J, Ihlow D, Lotzmann U, Hahn W, Thieme K M, Proff P, Gedrange T, Nägerl H (2007) Functional state of the mandible and rolling–gliding characteristics in the TMJ. *Ann Ant* 189: 393-396
- Lemke A J, Griethe M, Peroz I, Lange K P, Felix R (2005) Morphometrische Analyse des Kiefergelenkes anhand von 320 Gelenken mit der MRT. *Fortschr Röntgenstr* 177: 217-228
- Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, Jacobs R (2009) Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol* 71: 461-468

- Loughner B A, Larkin L H, Mahan P E (1989) Discomalleolar and anterior malleolar ligaments: possible causes of middle ear damage during temporomandibular joint surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 68: 14-22
- Ludemann J, Piek M, Wood W G, Meyer S, Greiner B, John U, Hense H W (2000) Methods for quality assurance of medical examination in epidemiological field studies: the "Study of Health in Pomerania" (SHIP). *Gesundheitswesen* 62: 234-243
- Ludlow J B, Ivanovic M (2008) Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106: 106-114
- McCormick S U, Grayson B H, McCarthy J G, Staffenberg D (1995) Effect of mandibular distraction on the temporomandibular joint: Part 2, Clinical study. *J Craniofac Surg* 6: 364-367
- Mills D K, Daniel J C, Herzog S, Scapino R P (1994) An animal model for studying mechanisms in human temporomandibular joint disc derangement. *J Oral Maxillofac Surg* 52: 1279-1292
- Moffett B (1966) The morphogenesis of the temporomandibular joint. *Am J Orthod* 52: 401-415
- Moffett B C, Jr., Johnson L C, McCabe J B, Askew H C (1964) Articular remodeling in the adult human temporomandibular joint. *Am J Anat* 115: 119-141
- Motoyoshi M, Kamijo K, Numata K, Namura S (1998) Ultrasonic imaging of the temporomandibular joint : A clinical trial for diagnosis of internal derangement. *J Oral Sci* 40: 89-94
- Mundt T, Mack F, Schwahn C, Bernhardt O, Kocher T, John U, Biffar R (2005) Gender differences in associations between occlusal support and signs of temporomandibular disorders: results of the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP). *Int J Prosthodont* 18 (3): 232-239
- N.-C.-D.-Risk-Factor-Collaboration (2016) A century of trends in adult human height. *eLife* 5: e13410
- Nancy A (2013) Ten cate's oral histology. St. Louis, Elsevier, Mosby



- O'Byrn B L, Sadowsky C, Schneider B, BeGole E A (1995) An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107: 394-400
- Okur A, Ozkiris M, Kapusuz Z, Karacavus S, Saydam L (2012) Characteristics of articular fossa and condyle in patients with temporomandibular joint complaint. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 16: 2131-2135
- Osborn J W (1989) The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints during jaw opening. *J Oral Rehabil* 16: 323-333
- Osborn J W (1995) Internal derangement and the accessory ligaments around the temporomandibular joint. *J Oral Rehabil* 22: 731-740
- Park J W, Song H H, Roh H S, Kim Y K, Lee J Y (2012) Correlation between clinical diagnosis based on RDC/TMD and MRI findings of TMJ internal derangement. *Int J Oral Maxillofac Surg* 41: 103-108
- Parsché E, Petritz K, Evgenidis A, Arefnia B, Haas M, Wegscheider W A (2013) Behandlung der Diskusverlagerung nach vorne mit Reposition. *Stomatol* 110: 32-40
- Patel A, Sandler J (2009) Richtlinien für Röntgenaufnahmen in der kieferorthopädischen Praxis. *Inf Orthod Kieferorthop* 41: 51-60
- Peroz I, Seidel A, Griethe M, Lemke A J (2011) MRI of the TMJ: morphometric comparison of asymptomatic volunteers and symptomatic patients. *Quintessence Int* 42: 659-667
- Pullinger A G, Solberg W K, Hollender L, Petersson A (1987) Relationship of mandibular condylar position to dental occlusion factors in an asymptomatic population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91: 200-206
- Radlanski R J, Klarkowski M-C (2001) Bone remodeling of the human mandible during prenatal development. *J Orofac Orthop* 62: 191-201
- Radlanski R J, Renz H, Klarkowski M C (2003) Prenatal development of the human mandible. *Anat Embryol* 207: 221-232
- Rae T C, Hill R A, Hamada Y, Koppe T (2003) Clinal variation of maxillary sinus volume in Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Am J Primatol* 59: 153-158

- Rees L A (1954) The structure and function of the mandibular joint. Br Dent J 97: 126
- Richards L C, Brown T (1981) Dental attrition and degenerative arthritis of the temporomandibular joint. J Oral Rehabil 8: 293-307
- Richter F, Richter U, Küffer E, Keil V (2001) Die Behandlung der Angle Klasse II mit dem Herbstscharnier unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Kiefergelenk. Inf Orthod Kieferorthop 33: 69-85
- Ridder P (2016) Craniomandibuläre Dysfunktion: Interdisziplinäre Diagnose-und Behandlungsstrategien. München, Elsevier, Urban&Fischer
- Röder C (2003) Kraniomandibuläre Dysfunktionen und kieferorthopädische Behandlung : eine Nachuntersuchung an 100 Patienten im Alter von 15 - 18 Jahren, Med Diss, Universität Greifswald
- Rodrigues A F, Fraga M R, Vitral R W (2009) Computed tomography evaluation of the temporomandibular joint in Class I malocclusion patients: condylar symmetry and condyle-fossa relationship. Am J Orthod Dentofacial Orthop 136: 192-198
- Rodrigues A F, Fraga M R, Vitral R W (2009) Computed tomography evaluation of the temporomandibular joint in Class II Division 1 and Class III malocclusion patients: condylar symmetry and condyle-fossa relationship. Am J Orthod Dentofacial Orthop 136: 199-206
- Schmid-Schwap M, Drahanowsky W, Bristela M, Kundi M, Piehslinger E, Robinson S (2009) Diagnosis of temporomandibular dysfunction syndrome—image quality at 1.5 and 3.0 Tesla magnetic resonance imaging. Eur Radiol 19: 1239-1245
- Schmolke C (1994) The relationship between the temporomandibular joint capsule, articular disc and jaw muscles. J Anat 184: 335-345
- Schumacher G H (1961) Funktionelle Morphologie der Kaumuskulatur. Jena, Fischer
- Schumacher G H (1962) Struktur- und Funktionswandel der Kaumuskulatur nach der Geburt. Fortschr Kieferorthop 23: 135-166
- Schumacher G H (1984) Anatomie für Stomatologen. Leipzig, Johann Ambrosius Barth

- Schumacher G H (1991) Anatomie Lehrbuch und Atlas. Heidelberg, Johann Ambrosius Barth
- Schumacher G H (1997) Anatomie für Zahnmediziner: Lehrbuch und Atlas. Heidelberg, Hüthig
- Shea B T (1977) Eskimo craniofacial morphology, cold stress and the maxillary sinus. Am J Phys Anthropol 47: 289-300
- Sicher H, DuBrul E (1975) Oral Anatomy, CV Mosby, St. Louis
- Sindelar B J, Edwards S, Herring S W (2002) Morphologic changes in the TMJ following splint wear. Anat Rec 266: 167-176
- Solberg W K (1985) Changes in the TMJ in relation to dental occlusion. G Stomatol Ortognatodonzia 4: 35-37
- Solberg W K (1986) Temporomandibular disorders: functional and radiological considerations. Br Dent J 160: 195-200
- Solberg W K, Hansson T L, Nordstrom B (1985) The temporomandibular joint in young adults at autopsy: a morphologic classification and evaluation. J Oral Rehabil 12: 303-321
- Statistics\_Bureau\_of\_Japan. (2015). Population and Households of Japan. from <http://www.stat.go.jp/english/data/kokusei/2015/poj/pdf/2015ch10.pdf>
- Statistisches\_Bundesamt. (2018). Bevölkerung in Privathaushalten nach Migrationshintergrund und Bundesländern. from [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Migration-Integration/Tabellen/migrationshintergrund-laender.html?view=main\[Print\]](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Migration-Integration/Tabellen/migrationshintergrund-laender.html?view=main[Print])
- Thilander B, Carlsson G E, Ingervall B (1976) Postnatal development of the human temporomandibular joint. I. A histological study. Acta Odontol Scand 34: 117-126
- Ueda M, Yonetsu K, Ohki M, Yamada T, Kitamori H, Nakamura T (2003) Curvature analysis of the mandibular condyle. Dentomaxillofac Radiol 32: 87-92
- United\_States\_Census\_Bureau. (2010). Profile of general population and housing characteristics. from

<https://factfinder.census.gov/faces/tableservices/jsf/pages/productview.xhtml?src=bkmk>

- Utz K, Schmitter M, Freesmeyer W (2010) Kieferrelationsbestimmung. Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien. Dtsch Zahnärztl Z 65: 766-775
- Venetis G (2015) Imaging for Temporomandibular Disorder. SMGroup <http://studyres.com/doc/7912086/imaging-for-temporomandibular-disorder-gregory-venetis>
- Vitral R W, da Silva Campos M J, Rodrigues A F, Fraga M R (2011) Temporomandibular joint and normal occlusion: Is there anything singular about it? A computed tomographic evaluation. Am J Orthod Dentofacial Orthop 140: 18-24
- Vitral R W, Telles Cde S, Fraga M R, de Oliveira R S, Tanaka O M (2004) Computed tomography evaluation of temporomandibular joint alterations in patients with class II division 1 subdivision malocclusions: condyle-fossa relationship. Am J Orthod Dentofacial Orthop 126: 48-52
- Vogl T J, Abolmaali N (2001) Magnetresonanztomographie des Temporomandibulargelenkes: Untersuchungstechnik, Ergebnisse, Indikationsstellung. Fortschr Röntgenstr 173: 969-979
- Völzke H (2012) Study of Health in Pomerania (SHIP). Concept, design and selected results. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 55: 790-794
- Völzke H, Alte D, Schmidt C O, Radke D, Lorbeer R, Friedrich N, Aumann N, Lau K, Piontek M, Born G, Havemann C, Ittermann T, Schipf S, Haring R, Baumeister S E, Wallaschofski H, Nauck M, Frick S, Arnold A, Junger M, Mayerle J, Kraft M, Lerch M M, Dorr M, Reffellmann T, Empen K, Felix S B, Obst A, Koch B, Glaser S, Ewert R, Fietze I, Penzel T, Doren M, Rathmann W, Haerting J, Hannemann M, Ropcke J, Schminke U, Jurgens C, Tost F, Rettig R, Kors J A, Ungerer S, Hegenscheid K, Kuhn J P, Kuhn J, Hosten N, Puls R, Henke J, Gloger O, Teumer A, Homuth G, Volker U, Schwahn C, Holtfreter B, Polzer I, Kohlmann T, Grabe H J, Roskopf D, Kroemer H K, Kocher T, Biffar R, John U, Hoffmann W (2011) Cohort profile: the study of health in Pomerania. Int J Epidemiol 40: 294-307

- Wang M, Cao H, Ge Y, Widmalm S E (2009) Magnetic resonance imaging on TMJ disc thickness in TMD patients: a pilot study. *J Prosthet Dent* 102: 89-93
- Wang X D, Kou X X, Mao J J, Gan Y H, Zhou Y H (2012) Sustained Inflammation Induces Degeneration of the Temporomandibular Joint. *J Dent Res* 91: 499-505
- Werner J A, Tillmann B, Schleicher A (1991) Functional anatomy of the temporomandibular joint. *Anat Embryol* 183: 89-95
- Westheide W, Rieger G (2015) III KOPF. In: *Spezielle Zoologie. Teil 2: Wirbel-oder Schädeltiere*, Springer, pp 32-48
- Wish-Baratz S, HersHKovitz I, Arensburg B, Latimer B, Jellema L M (1996) Size and location of the human temporomandibular joint. *Am J Phys Anthropol* 101: 387-400
- World-Medical-Association. (2013). WMA Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen. Paper presented at the 64. WMA - Generalversammlung, Fortaleza (Brasilien).
- Xiang X L, Chen Y, Dai Q C, Chen M Y (2001) Morphologic survey of temporomandibular joint an autopsy investigation. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 10: 142-144
- Yale S H, Ceballos M, Kresnoff C S, Hauptfuehrer J D (1963) Some observations on the classification of mandibular condyle types. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 16: 572-577
- Zwijnenburg A J, Kroon G W, Verbeeten B, Jr., Naeije M (1996) Jaw movement responses to electrical stimulation of different parts of the human temporalis muscle. *J Dent Res* 75: 1798-1803

## 8 Anhang

### 8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Kiefergelenke, Interkondylarwinkel, transversale Höckerneigung, Zähne der verschiedenen Kautypen, von links nach rechts: Carnivora, Ruminantia, Rodentia, Mensch, Aus: Schumacher (1961) mit freundlicher Genehmigung des Verlages.....	7
Abb. 2 Übersichtskarte von Nord-Ost-Deutschland; vergrößert: Region Vorpommern-Greifswald, bestehend aus den Landkreisen Nordvorpommern (ausgenommen Darß und Rügen), Ostvorpommern (ausgenommen Usedom), Greifswald und Stralsund, Blau und Rot eingefärbt: Region der Stichprobe für SHIP .....	21
Abb. 3 1,5 Tesla Magnetresonanztomograph (Magnetom Avanto; Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) der Study of Health in Pomerania.....	23
Abb. 4 Beispiel der Benutzeroberfläche des Plug-In .....	25
Abb. 5 Übersicht der Webmaske zur Datenerfassung.....	26
Abb. 6 Benutzeroberfläche von Osirix mit einem Ausschnitt der Datenbank .....	27
Abb. 7 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion der Kopfsequenz eines 38-jährigen männlichen Probanden, a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld .....	28
Abb. 8 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, das Achsenkreuz befindet sich auf dem rechten Porion (rPo), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld.....	29
Abb. 9 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, die koronare (blau) und die transversale (lila) Ebenen schneiden das rechte und das linke Porion (rPo, lPo), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld .....	30
Abb. 10 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, Rotation der transversalen Ebene (lila) um die Gerade durch rPo und lPo (blau in b) bis durch den linken Infraorbitalpunkt (Or), a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld.....	31

Abb. 11 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden, Transversale Ebene (b bzw. lilafarbene Achsen) parallel zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet, maximale Ausdehnung des rechten Kondylus (roter Pfeil) im transversalen Arbeitsfeld (b), es stellt Bild 1 der sechs erstellten Bilder dar, a: sagittales Arbeitsfeld, b: transversales Arbeitsfeld, c: koronares Arbeitsfeld.....	32
Abb. 12 Benutzeroberfläche von Osirix mit multiplanarer Rekonstruktion eines 38-jährigen männlichen Probanden. Das Achsenkreuz ist im rechten Kondylus zentriert. Die grüne Hilfslinie H1 in Bildteil a ist parallel zur Frankfurter Horizontalen, a: schräg sagittales Arbeitsfeld (Bild 4), b: transversales Arbeitsfeld, c: schräg koronares Arbeitsfeld (Bild 3) ...	34
Abb. 13 Bild 1 der erstellten DICOM Serie aus Osirix, transversaler Schnitt, Messung des rechten Kondylus in schräg sagittaler Ausdehnung (KL re) und des rechten Anteils des Interkondylarwinkels (IKW re), Hilfslinie H2 teilt den Interkondylarwinkel, vergrößert am rechten Bildrand, die Punkte A und P als Begrenzungen von H2, männlicher, 38-jähriger Proband.....	37
Abb. 14 Bild 3 der erstellten DICOM-Serie aus Osirix, schräg koronarer Schnitt, Messung der Ausdehnung des Kondylus in schräg koronarer Richtung. Das Rechteck tangiert den medialen und lateralen Pol des Kondylus und gibt so seine Breite wieder (blaue Linie - KB re). Messung des umgebenden Weichgewebes kranial in größter Ausdehnung senkrecht zur Gelenkfläche des Kondylus (gelbe Linie - HW re), Tangente (rot gestrichelte Linie - T) an der Gelenkfläche an der Stelle unter der größten Weichgewebsdicke (HW), männlicher 38-jähriger Proband. ....	38
Abb. 15 Bild 4 der erstellten DICOM Serie aus Osirix, schräg sagittaler Schnitt. Darstellung der Weichgewebsdicke kranial des Scheitelpunktes S des rechten Caput mandibulae. Die Horizontale H1 schneidet den Punkt S parallel zur Frankfurter Horizontalen. Die Messungen erfolgen anterior (gelb) und posterior (blau) von S, jeweils im Winkel von 45° zu H1. Gelbe Linie - Weichgewebsdicke anterior des Caput mandibulae (HW 45 ant), blaue Linie - Weichgewebsdicke posterior des Caput mandibulae (HW 45 post) .....	39
Abb. 16 Prozentuale Verteilung der verschiedenen Formen der Kondylen mit und ohne Berücksichtigung des Geschlechts, n: Anzahl der Kondylen.....	44
Abb. 17 Flache Kondylenform, Typ A, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt.....	45

Abb. 18 Elliptische Kondylenform, Typ B, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt .....	46
Abb. 19 Runde Kondylen, Typ C, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt .....	46
Abb. 20 Kondylen mit lateralem Scheitelpunkt, Typ D, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt .....	47
Abb. 21 Kondylen mit medialem Scheitelpunkt, Typ E, Anteil der Altersgruppen in Prozent, nach Geschlecht und Altersgruppen getrennt .....	48
Abb. 22 Größte Dicke des Weichgewebes kranial des Kondylus, für die gesamten Kohorte sowie getrennt für männliche und weibliche Probanden im Seitenvergleich .....	49
Abb. 23 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des linken Kondylus bei männlichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen. ....	50
Abb. 24 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des rechten Kondylus bei männlichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen .....	50
Abb. 25 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des linken Kondylus bei weiblichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen .....	51
Abb. 26 Größte Dicke des Weichgewebes (HW) kranial des rechten Kondylus bei weiblichen Probanden in den verschiedenen Altersgruppen .....	52
Abb. 27 Weichgewebisdifferenzen (HWD) in verschiedenen Altersgruppen für männliche und weibliche Probanden. Positive Werte stehen für mehr anteriores Weichgewebe, negative Werte für mehr posteriores Weichgewebe (Tab. 34, im Anhang). AG - Altersgruppe .....	54
Abb. 28 Größte Weichgewebisdicken (HW) kranial des rechten Kondylus bei den verschiedenen Kondylusformen A bis E des rechten Kondylus, Angaben in mm .....	55
Abb. 29 Größte Weichgewebisdicken kranial des linken Kondylus bei den verschiedenen Kondylusformen A bis E des rechten Kondylus, Angaben in mm .....	56



## 8.2 Tabellen mit zugrunde liegenden Daten

Tab. 8 Prävalenz der verschiedenen Kondylusformen in der gesamten Kohorte, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	8	73	14	4	3	102
AG 2	12	129	19	20	5	185
AG 3	30	222	29	24	16	321
AG 4	30	248	25	15	11	329
AG 5	20	224	19	12	12	287
AG 6	22	102	13	8	15	160
gesamt	122	998	119	83	62	1384

Tab. 9 Prävalenz der verschiedenen Kondylusformen bei männlichen Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	3	42	9	2	2	58
AG 2	4	60	6	13	1	84
AG 3	11	106	15	15	3	150
AG 4	16	127	3	4	6	156
AG 5	9	111	4	7	3	134
AG 6	16	64	4	6	8	98
gesamt	59	510	41	4	23	680

Tab. 10 Prävalenz der verschiedenen Kondylusformen bei weiblichen Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	5	31	5	2	1	44
AG 2	8	69	13	7	4	101
AG 3	19	116	14	9	13	171
AG 4	14	121	22	11	5	173
AG 5	11	113	15	5	9	153
AG 6	6	38	9	2	7	62
gesamt	63	488	78	36	39	704

Tab. 11 Prävalenz der verschiedenen Formen des rechten Kondylus männlicher Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	1	21	5	1	1	29
AG 2	2	29	3	8	0	42
AG 3	5	51	10	8	1	75
AG 4	6	64	3	3	2	78
AG 5	4	53	3	5	2	67
AG 6	7	33	1	3	5	49
gesamt	25	251	25	28	11	340

Tab. 12 Prävalenz der verschiedenen Formen des rechten Kondylus weiblicher Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	1	16	3	1	1	22
AG 2	4	33	5	7	2	51
AG 3	8	59	7	5	7	86
AG 4	8	60	12	4	2	86
AG 5	2	59	10	1	5	77
AG 6	5	19	3	1	3	31
gesamt	28	246	40	19	20	353

Tab. 13 Prävalenz der verschiedenen Formen des linken Kondylus männlicher Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	2	21	4	1	1	29
AG 2	2	31	3	5	1	42
AG 3	6	55	5	7	2	75
AG 4	10	63	0	1	4	78
AG 5	5	58	1	2	1	67
AG 6	9	31	3	3	3	49
gesamt	34	259	16	19	12	340

Tab. 14 Prävalenz der verschiedenen Formen des linken Kondylus weiblicher Probanden, nach Altersgruppen getrennt

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	gesamt
AG 1	4	15	2	1	0	22
AG 2	4	36	8	0	2	50
AG 3	11	57	7	4	6	85
AG 4	6	61	10	7	3	87
AG 5	9	54	5	4	4	76
AG 6	1	19	6	1	4	31
gesamt	35	242	38	17	19	351

Tab. 15 Einfluss des Geschlechts auf die Form des Kondylus, Logistische Regression, Nullhypothese: Das Geschlecht weiblich führt zu einer Form, die verschieden von Typ B elliptisch ist

Einfluss des Geschlechts auf die Form	Odds Ratio	SD	z	p> z	[95% Conf. Intervall]	
Typ A rechts	1,1382	0,3294	0,45	0,655	0,6454	2,0072
Typ A links	1,1017	0,2830	0,38	0,706	0,6659	1,8227
Typ C rechts	1,6260	0,4395	1,80	0,072	0,9573	2,7619
Typ C links	2,5418	0,7909	3,00	0,003	1,3814	4,6773
Typ D rechts	0,6896	0,2141	-1,20	0,231	0,3752	1,2673
Typ D links	0,9576	0,3310	-0,13	0,900	0,4864	1,8852
Typ E rechts	1,8477	0,7132	1,59	0,112	0,8672	3,9371
Typ E links	1,6946	0,6429	1,39	0,165	0,8056	3,5647

Tab. 16 Kondylen mit elliptischer Form Typ B, prozentualer Anteil der Altersgruppe, nach Geschlecht und Alter getrennt

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
männlich	72,41	71,43	70,67	81,41	82,84	65,31
weiblich	70,45	68,32	67,84	69,94	73,86	61,29

Tab. 17 Kondylen mit flacher Form Typ A, prozentualer Anteil der Altersgruppe, nach Geschlecht und Alter getrennt

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
männlich	5,17	4,76	7,33	10,26	6,72	16,33
weiblich	11,36	7,92	11,11	8,09	7,19	9,68

Tab. 18 Kondylen mit runder Form Typ C, prozentualer Anteil der Altersgruppe, nach Geschlecht und Alter getrennt

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
männlich	15,52	7,14	10,00	1,92	2,99	4,08
weiblich	11,36	12,87	8,19	12,72	9,80	14,52

Tab. 19 Kondylen mit lateralem Scheitelpunkt Typ D, prozentualer Anteil der Altersgruppe, nach Geschlecht und Alter getrennt

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
männlich	3,45	15,48	10,00	2,56	5,22	6,12
weiblich	4,55	6,93	5,26	6,36	3,27	3,23

Tab. 20 Kondylen mit medialem Scheitelpunkt Typ E, prozentualer Anteil der Altersgruppe, nach Geschlecht und Alter getrennt

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
männlich	3,45	1,19	2,00	3,85	2,24	8,16
weiblich	2,27	3,96	7,60	2,89	5,88	11,29

Tab. 21 Einfluss des Alters der Probanden auf die Form des Kondylus, lineare Regressionsanalyse, Nullhypothese: Das Alter des Probanden führt zu einer Form des Kondylus, die verschieden von Typ B elliptisch ist.

Einfluss des Alters auf die Form	Coef	SD	t	p> t	[95% Conf. Intervall]	
Typ A rechts	2,5801	2,0261	1,27	0,203	-1,3980	6,5582
Typ A links	1,9128	1,8133	1,05	0,292	-1,6475	5,4730
Typ C rechts	-2,6756	1,8494	-1,45	0,148	-6,3069	0,9556
Typ C links	-2,2338	2,0226	-1,10	0,270	-6,2049	1,7374
Typ D rechts	-4,7856	2,1398	-2,24	0,026	-8,9869	-0,5843
Typ D links	-0,8263	2,4366	-0,34	0,735	-5,6105	3,9578
Typ E rechts	5,6976	2,5956	2,20	0,028	0,6013	10,7939
Typ E links	3,9263	2,6135	1,50	0,133	-1,2051	9,0578

Tab. 22 Formenvergleich der rechten und linken Kondylen der einzelnen Probanden, Schwarz: Erhobene Anzahl, Grün: erwartete Anzahl bei Normalverteilung, Pearson chi(16)= 377,01; p<0,001

Form des Kondylus	Links	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E
Rechts						
Typ A		20 5,3	29 38,4	1 4,1	2 2,8	1 2,4
Typ B		39 49,7	411 360,1	20 38,9	13 25,9	14 22,3
Typ C		3 6,2	25 44,9	28 4,9	2 3,2	4 2,8
Typ D		3 4,7	25 34,1	2 3,7	17 2,5	0 2,1
Typ E		4 3,1	10 22,5	3 2,4	2 1,6	12 1,4

Tab. 23 Auswertung der größten Weichgewebisdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der gesamten Kohorte, geschlechtergetrennt, rechts und links, Angaben in mm

HW in mm	Kohorte rechts	Kohorte links	Männlich rechts	Männlich links	Weiblich rechts	Weiblich links
Minimum	2,06	2,00	2,48	2,550	2,06	2,00
Q1	3,98	3,95	4,46	4,43	3,62	3,71
Median	4,74	4,68	5,00	4,97	4,26	4,27
Q3	5,32	5,36	5,67	5,69	4,99	4,94
Maximum	9,39	8,62	9,39	8,62	7,52	7,58
SD	1,0172	1,0030	0,9378	0,9567	0,9557	0,9155
N	691	693	340	341	351	352
Mittelwert	4,67	4,69	5,05	5,06	4,31	4,33
Wölbung	3,2490	3,1298	4,0542	3,4218	2,6870	2,8912
Schiefe	0,2013	0,2600	0,3093	0,2716	0,2350	0,2632

Tab. 24 Auswertung der größten Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der linken Seite männlicher Probanden, Angaben in mm

HW li männlich in mm	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Minimum	3,35	2,98	3,29	2,72	2,82	2,55
Q1	4,28	4,10	4,30	4,46	4,67	4,69
Median	4,90	4,61	5,07	5,16	4,92	5,11
Q3	5,70	5,38	5,63	5,96	5,57	5,92
Maximum	7,10	8,62	6,93	6,93	7,16	8,06
SD	0,9853	1,2261	0,8320	0,9702	0,7956	1,0494
N	30	42	75	78	67	49
Mittelwert	4,99	4,89	5,03	5,13	5,02	5,21

Tab. 25 Auswertung der größten Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der rechten Seite männlicher Probanden, Angaben in mm

HW re männlich in mm	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Minimum	2,48	2,82	3,01	2,79	3,23	3,14
Q1	3,97	4,27	4,60	4,62	4,32	4,57
Median	4,72	4,93	5,13	5,14	4,99	5,00
Q3	5,04	5,81	5,66	5,78	5,71	5,65
Maximum	6,60	7,42	7,24	7,13	7,74	9,39
SD	0,8468	1,0571	0,8506	0,9705	0,8879	0,9987
N	29	42	75	78	67	49
Mittelwert	4,65	4,95	5,11	5,15	5,01	5,13

Tab. 26 Auswertung der größten Weichgewebsdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der linken Seite weiblicher Probanden, Angaben in mm

HW li weiblich in mm	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Minimum	3,22	2,63	2,24	2,00	2,24	2,39
Q1	3,79	3,64	3,56	3,65	3,83	3,97
Median	4,12	4,12	4,25	4,26	4,44	4,45
Q3	4,74	4,71	4,96	4,86	5,00	5,19
Maximum	6,20	6,39	6,25	6,45	7,58	6,45
SD	0,8804	0,9215	0,9048	0,9097	0,9394	0,8976
N	22	50	86	87	76	31
Mittelwert	4,34	4,17	4,29	4,25	4,5	4,51

Tab. 27 Auswertung der größten Weichgewebstdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der rechten Seite weiblicher Probanden, Angaben in mm

HW re weiblich in mm	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Minimum	2,93	2,06	2,53	2,33	2,32	2,72
Q1	3,81	3,57	3,58	3,51	3,72	3,75
Median	4,25	4,28	4,29	4,04	4,42	4,18
Q3	4,75	5,05	4,95	4,88	5,10	5,19
Maximum	6,30	5,93	7,52	6,14	6,86	7,09
SD	0,8481	0,9941	0,9777	0,8607	1,0142	1,0258
N	22	51	85	85	77	31
Mittelwert	4,36	4,28	4,34	4,16	4,37	4,44

Tab. 28 Abhängigkeit der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen vom Geschlecht, lineare Regression

Zusammenhang HW zum Geschlecht	Coef.	SD	t	P> t	[95% Conf. Intervall]	
Rechts	-0,7461	0,0721	-10,35	< 0,001	-0,8876	-0,6046
Links	-0,7243	0,0711	-10,18	< 0,001	-0,8639	-0,5846

Tab. 29 Abhängigkeit der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen vom Alter, lineare Regression

Zusammenhang von HW und dem Alter	Coef.	SD	t	P> t	[95% Conf. Intervall]	
Rechts gesamt	0,0049	0,0027	1,80	0,072	-0,0004	0,0103
Links gesamt	0,0071	0,0027	2,66	0,008	0,0019	0,0124
Rechts männlich	0,0017	0,0037	0,44	0,658	-0,0057	0,0090
Links männlich	0,0076	0,0036	2,12	0,034	0,0006	0,0146
Rechts weiblich	0,0065	0,0035	1,87	0,062	-0,0003	0,0133
Links weiblich	0,0056	0,0035	1,58	0,116	-0,014	0,0125

Tab. 30 Auswertung der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen in Abhängigkeit von der Form des rechten Kondylus in der gesamten Kohorte, geschlechts- und altersunabhängig in mm

HW re in mm	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	Gesamt
Minimum	3,01	2,32	2,06	2,71	2,79	2,06
Q1	4,27	4,03	3,35	4,28	3,67	3,98
Median	4,96	4,77	3,84	4,83	4,78	4,74
Q3	5,47	5,34	4,61	5,49	5,13	5,32
Maximum	6,87	9,39	5,83	7,42	6,86	9,39
SD	0,8493	1,0074	0,8829	1,039	1,0944	1,0148
N	52	494	65	47	31	689
Mittelwert	4,86	4,73	3,99	4,87	4,57	4,67

Tab. 31 Auswertung der größten Weichgewebstdicke (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen in Abhängigkeit von der Form des linken Kondylus in der gesamten Kohorte, geschlechts- und altersunabhängig in mm

HW li in mm	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E	Gesamt
Minimum	3,03	2,24	2,00	2,24	2,75	2,00
Q1	4,58	3,99	3,35	4,20	3,69	3,95
Median	5,00	4,68	3,99	4,68	4,37	4,68
Q3	5,80	5,34	4,80	5,01	5,58	5,36
Maximum	7,27	8,62	6,45	6,47	7,06	8,62
SD	0,9108	0,9834	0,9731	0,9763	1,0797	1,0001
N	69	501	54	36	31	691
Mittelwert	5,14	4,70	4,14	4,55	4,56	4,68

Tab. 32 Beträge der Differenz der Mittelwerte der größten Weichgewebstdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen der rechten und linken Seite ( $|HW_{re} - HW_{li}|$ ), Angaben in mm, bezogen auf das Alter, lineare Regression, keine Signifikanz ( $p \gg 0,05$ )

Geschlecht	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Männlich	0,34	0,06	0,08	0,02	0,01	0,08
Weiblich	0,02	0,11	0,05	0,09	0,13	0,07



Tab. 33 Einfluss der Kondylusform auf die Stärke der größten Weichgewebsdicke (HW)  
 kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen, lineare Regression

Kondylusform Rechts: n=689 Links: n= 691	Coef.	p> t	[95% Conf. Intervall]	
Typ A rechts	0,1339	0,355	-0,1499	0,4178
Typ A links	0,4412	<0,001	0,1941	0,6882
Typ B rechts Vergleichsgröße	4,7266	<0,001	4,6390	4,8142
Typ B links Vergleichsgröße	4,6971	<0,001	4,6111	4,7830
Typ C rechts	-0,7385	<0,001	-0,9954	-0,4816
Typ C links	-0,5604	<0,001	-0,8360	-0,2849
Typ D rechts	0,1444	0,3400	-0,1528	0,4416
Typ D links	-0,1476	0,3830	-0,4796	0,1843
Typ E rechts	-0,1557	0,3970	-0,5162	0,2048
Typ E links	-0,1366	0,4510	-0,4927	0,2194

Tab. 34 Auflistung der Mittelwerte der Weichgewebstdicken 45° anterior (HW 45 ant) und posterior (HW 45 post) des Scheitelpunktes des Kondylus auf schräg sagittalen MRT-Aufnahmen und deren Differenz (HWD = HW 45 ant - HW 45 post), getrennt nach Alter und Geschlecht der Probanden, Angaben in mm

Alter	AG 1		AG 2		AG 3		AG 4		AG 5		AG 6		gesamt		
Sex	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	gesamt
Mean HW 45 ant re	5,01	4,62	4,47	4,32	4,50	4,50	4,41	4,07	4,23	4,09	4,38	4,16	4,45	4,26	4,35
Mean HW 45 post re	4,17	3,90	4,84	3,79	4,55	3,85	4,66	3,90	4,68	4,14	5,03	4,07	4,67	3,94	4,30
HWD re	0,84	0,72	-0,38	0,53	-0,05	0,66	-0,26	0,17	-0,45	-0,05	-0,64	0,09	-0,22	0,32	0,05
Mean HW 45 ant li	5,03	4,55	4,55	4,30	4,59	4,54	4,53	4,13	4,47	4,33	4,57	4,33	4,58	4,34	4,46
Mean HW 45 post li	4,39	3,94	4,63	3,79	4,62	3,91	4,69	3,91	4,59	4,18	4,76	4,13	4,63	3,97	4,30
HWD li	0,64	0,61	-0,08	0,51	-0,03	0,63	-0,17	0,23	-0,12	0,14	-0,19	0,20	-0,05	0,37	0,16

Tab. 35 Zusammenhang zwischen Geschlecht und der Differenz der Weichgewebisdicken (HWD) auf schräg sagittalen MRT-Aufnahmen, lineare Regression, Nullhypothese weiblich abweichend von männlich

Zusammenhang zwischen Geschlecht und HWD	Coef.	SD	t	P> t	[95% Conf. Intervall]	
Rechts	0,5510	0,0973	5,67	0,000	0,3601	0,7420
Links	0,4172	0,0918	4,54	0,000	0,2369	0,5975

Tab. 36 Zusammenhang zwischen Alter und Differenz der Weichgewebisdicken (HWD) auf schräg sagittalen MRT-Aufnahmen, lineare Regression

Zusammenhang zwischen dem Alter und HWD	Coef.	SD	t	P> t	[95% Conf. Intervall]	
Rechts	-0,0181	0,0034	-5,26	0,000	-0,0248	-0,0113
Links	-0,0107	0,0033	-3,27	0,001	-0,0171	-0,0043

Tab. 37 Vergleich der Differenz der größten Weichgewebisdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen, rechts und links bei symmetrischen und asymmetrischen Kondylusformen, Angaben in mm

Differenz der Weichgewebisdicken in mm	Symmetrisch	Asymmetrisch
Minimum	0,0001	0,0018
Q1	0,2452	0,2154
Median	0,5191	0,5094
Q3	0,9219	0,9209
Maximum	4,3781	2,6677
SD	0,53	0,54
N	488	202
Mittelwert	0,64	0,63

Tab. 38 Vergleich der durchschnittlichen Differenz der größten Weichgewbsdicken (HW) kranial des Kondylus auf schräg koronaren MRT-Aufnahmen, rechts und links in den Kombinationen der Kondylusformen, symmetrische Formen dunkelblau hinterlegt, Angaben der mittleren Differenzen in mm

Form des rechten Kondylus																
Form des linken Kondylus																
	Typ A			Typ B			Typ C			Typ D			Typ E			
	n	mean	SD	n	mean	SD	n	mean	SD	n	mean	SD	n	mean	SD	
Typ A	20	0,74	0,46	39	0,46	0,43	3	0,9	0,47	3	0,47	0,23	4	0,56	0,23	
Typ B	29	0,47	0,43	411	0,63	0,53	25	0,74	0,57	25	0,75	0,5	10	0,72	0,45	
Typ C	1	1,34	X	20	0,51	0,47	28	0,65	0,51	2	1,1	1,22	3	1,53	1,11	
Typ D	2	0,48	0,11	13	0,98	0,64	2	0,39	0,14	17	0,65	0,62	2	0,41	0,43	
Typ E	1	1,38	X	14	0,7	0,74	4	0,1	0,07	x	x	x	12	0,49	0,27	

Tab. 39 Durchschnittliche Interobserverabweichungen für die Messung der Weichgewbsdicken, rechts und links

	Durchschnittliche Interobserverabweichung	Standardabweichung *1,96
HW re	0,58%	11,92%
HW li	0,74%	12,78%
HW 45 ant re	-0,33%	5,59%
HW 45 ant li	-0,19%	5,96%
HW 45 post re	-0,85%	7,16%
HW 45 post li	-1,11%	7,24%

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

30.09.2020

Datum

Unterschrift

## Lebenslauf

Name	Krüger
Vorname	Franz
Anschrift	Falkenstraße 2 23564 Lübeck
Nationalität	deutsch
Geburtsdatum	29.11.1989
Geburtsort	Neubrandenburg
Familienstand	verheiratet

## Laufbahn

seit	2016	angestellter Zahnarzt der Trave Praxis für Zahnmedizin in Bad Oldesloe
	2014	Assistenz Zahnarzt der Gemeinschaftspraxis Paschedag und Tran-Khanh in Bad Oldesloe
	2013	Examen an der Universität Greifswald und Approbation als Zahnarzt
	2008	Abitur am Oskar Picht Gymnasium Pasewalk

30.09.2020

Datum

Unterschrift

## Danksagung

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Hans-Robert Metelmann, Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie/Plastische Operationen der Universitätsmedizin Greifswald, für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas und die Möglichkeit, diese Arbeit an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Greifswald fertigstellen zu können.

Weiterhin möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Stefan Kindler, Leiter der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Greifswald, und Herrn Prof. Dr. med. Thomas Koppe, Oberassistent am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin Greifswald, für die ausgesprochen gute Betreuung bedanken. Sowohl ihre konstruktiven Ideen und Hinweise, als auch ihre wissenschaftlichen und fachlichen Ratschläge halfen mir bei der Bewältigung der Themen, Bearbeitung der Daten und waren somit ein maßgeblicher Antrieb für die Fertigstellung dieser Dissertation.

Bei Herrn Robert Mühlig möchte ich mich für die sehr gute Zusammenarbeit bei der Entwicklung der Datenmaske, der Befundung der Probanden, der Entwicklung der Methoden und für die vielen wissenschaftlichen Besprechungen und langen Telefonate bedanken.

Außerdem gebührt Frau Saskia Ungerer, ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiterin bei GANI\_MED der Universitätsmedizin Greifswald, ein großer Dank für die sehr gute, konstruktive radiologische Betreuung zu Beginn dieser Arbeit.

Den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für Community Medicine, Abteilung SHIP-KEF, Jörg Henke und Martin Albers möchte ich für die Hilfe bei der Erstellung und Programmierung der Webmaske danken. Des Weiteren möchte ich mich bei Martin Albers und PD Dr. rer. nat. Till Ittermann, aus derselben Abteilung, für die statistische Auswertung der Ergebnisse bedanken.

Abschließend gebührt meiner gesamten Familie großer Dank für die Unterstützung in allen nur denkbaren Bereichen über die Zeit der Erstellung dieser Arbeit und darüber hinaus.